



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO  
UNIDAD ACADÉMICA CHETUMAL  
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS  
MAESTRIA EN ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN

*PROYECTO ACUAPÓNICO PARA COMUNIDADES EJIDALES DE QUINTANA  
ROO BAJO LA TUTELA DEL ESTADO CON DIRECTRICES DE  
SUTENTABILIDAD Y PRODUCTIVIDAD.*

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA**

***P R E S E N T A:***

**RICARDO GUERRRERO ZEPEDA**

Integrantes del comité de supervisión de Tesis

DIRECTOR:

DR. ANTONIO RICO LOMELÍ

LECTORES:

M.C. Andrés Alcocer Verde,

Dr. José Luis Granados Sánchez,

Dr. José Luis Esparza Aguilar y

Dra. Manuela Laguna Coral

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
RELEVANCIA CIENTÍFICA Y PROFESIONAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
OBJETIVO.....	13
<i>Objetivos Específicos</i> .....	13
HIPÓTESIS.....	14
<b>MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>16</b>
<b>1 LOS BIENES PÚBLICOS Y LOS RECURSOS COMUNES</b> .....	<b>18</b>
1.1 ASIGNACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES APROPIABLES.....	19
1.2 SUSTITUIBILIDAD DE CAPITAL NATURAL Y HUMANO.....	20
1.3 LAS FALLAS DEL MERCADO Y EL CONSUMIDOR PARASITO ( <i>FREE RIDER</i> ).....	22
1.4 ANÁLISIS DE LA INEFICIENCIA ECONÓMICA (EXTERNALIDADES).....	22
1.4.1 <i>Contaminación socialmente eficiente</i> .....	24
1.4.2 <i>Análisis grafico de la contaminación</i> .....	26
1.4.3 <i>Políticas para corregir externalidades</i> .....	27
<b>2 EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EL DESARROLLO</b> .....	<b>31</b>
2.1 LAS FUENTES DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO.....	31
<b>3 EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE Y LOS PROBLEMAS SOCIOECONÓMICOS Y ECOLÓGICOS</b> .....	<b>34</b>
3.1 LA NECESIDAD DE LA INCORPORACIÓN TECNOLÓGICA EN LA AGRICULTURA.....	35
3.2 HACIA UNA REVOLUCIÓN VERDE.....	37
3.3 LA COMPLEJIDAD DEL CAMBIO TECNOLÓGICO.....	38
3.4 EL CAMBIO TECNOLÓGICO EN BENEFICIO DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA SOSTENIBLE.....	39
<b>4 POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO AGRICOLA</b> .....	<b>41</b>
4.1 SISTEMA DE INNOVACIONES AGRÍCOLAS.....	42
4.2 REFORZAMIENTO DE LAS CAPACIDADES DE INVESTIGACIÓN.....	42
4.3 APOYO INTERNACIONAL.....	43
4.4 TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y COOPERACIÓN INTERNACIONAL.....	43
4.4.1 <i>La importancia de la difusión y desarrollo</i> .....	44
4.4.2 <i>El asunto del régimen de la propiedad intelectual</i> .....	45
4.4.3 <i>La financiación de las transferencias de tecnología ecológica</i> .....	46
<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>49</b>
<b>5 EL MODELO CHAPINGO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA</b> .....	<b>49</b>
5.1 PROPÓSITO DEL MODELO CHAPINGO.....	50
5.2 OBJETIVO GENERAL DEL MODELO.....	51
5.3 PRECISIÓN DE LA POBLACIÓN OBJETIVO.....	51
5.4 EL DIAGNÓSTICO.....	51
5.5 PRODUCTOS RECOMENDABLES EN LAS ACTIVIDADES DE TRANSFERENCIA.....	52
5.6 CONOCIMIENTO DE LOS MERCADOS.....	54

5.7	SISTEMA DE COBRO .....	56
5.8	PROMOCIÓN DE LOS SERVICIOS DEL DESPACHO .....	57
5.9	CONFORMACIÓN DEL EQUIPO TÉCNICO Y FINANCIAMIENTO INICIAL DEL BUFETE .....	58
5.10	CAPACITACIÓN DE LOS TRANSFERENCISTAS DE TECNOLOGÍA .....	59
<b>6</b>	<b>PRINCIPALES ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>61</b>
6.1	POBLACIÓN, SISTEMAS PRODUCTIVOS Y ESTRATEGIAS DE SOBREVIVENCIA.....	62
6.2	LIMITANTES PARA PRODUCIR .....	64
6.3	INTERÉS EN CULTIVAR ÁRBOLES .....	65
6.3.1	<i>Especies maderables.....</i>	65
6.3.2	<i>Especies frutales.....</i>	65
6.4	DISEÑO DE SISTEMAS AGROFORESTALES .....	66
6.4.1	<i>Tres sistemas agroforestales contrastantes .....</i>	67
6.4.2	<i>Resultados en sistemas agroforestales .....</i>	67
6.4.3	<i>La milpa.....</i>	68
6.4.4	<i>El solar .....</i>	73
<b>7</b>	<b>SISTEMA ACUAPÓNICO.....</b>	<b>76</b>
7.1	ELEMENTOS QUE INTEGRAN UN SISTEMA ACUAPÓNICO.....	77
7.1.1	<i>La acuacultura en los RAS .....</i>	79
7.1.2	<i>La hidroponía en los RAS.....</i>	79
7.1.3	<i>El proceso de aprovechamiento del nitrógeno .....</i>	79
7.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ACUAPONIA .....	80
7.2.1	<i>Aprovechamiento de las aguas residuales en Acuaponia.....</i>	80
7.2.2	<i>Rentabilidad en Acuaponia.....</i>	80
7.3	DESVENTAJAS DE LOS RAS .....	82
7.4	DISEÑO DEL SISTEMA ACUAPÓNICO .....	82
7.4.1	<i>Funcionamiento del sistema .....</i>	83
7.4.2	<i>La bio-filtración de las aguas residuales .....</i>	83
7.4.3	<i>Investigación en la Universidad de las Islas Vírgenes .....</i>	84
7.5	MANEJO DE LA PRODUCCIÓN .....	86
7.6	PRODUCTIVIDAD .....	86
7.7	VEGETALES QUE SE ADECUAN AL SISTEMA ACUAPÓNICO .....	87
7.8	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN LOS CULTIVOS .....	88
7.8.1	<i>Estrategia de producción.....</i>	88
7.9	RENDIMIENTO EN LOS CULTIVOS .....	89
7.10	DENSIDAD ESPACIAL .....	89
<b>8</b>	<b>UTILIDAD ECONOMICA DEL SISTEMA .....</b>	<b>91</b>
8.1.1	<i>Ingresos .....</i>	91
8.1.2	<i>Costos totales.....</i>	92
8.1.3	<i>Total de las inversiones .....</i>	93
8.1.4	<i>Pagos .....</i>	94
8.1.5	<i>Depreciación .....</i>	94
8.2	ANÁLISIS DE RIESGO .....	94

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>99</b>
TABLA 1. FLUJO DE CAJA. ....	99
TABLA 2. INGRESOS.....	101
TABLA 3. COSTOS TOTALES.....	102
TABLA 4. REUMEN TOTAL DE INVERSIONES.....	103
TABLA 5. DEPRECIACIÓN. ....	105
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>106</b>

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

ILUSTRACIÓN 0-2. EVOLUCIÓN HISTORICA DE LA COBERTURA FORESTAL DE LA ZONA MAYA Q.ROO. ....	9
ILUSTRACIÓN 0-1. GRANJA AUTOSUFICIENTE ACUAPÓNICA .....	15
ILUSTRACIÓN 1-1. GRÁFICA QUE EXPLICA QUE EN LA PRODUCCIÓN QUE EL CAPITAL NATURAL Y EL ELABORADO SON SUSTITUTOS. ....	21
ILUSTRACIÓN 1-3. GRÁFICA PARA ENTENDER LA INEFICACIA DE LAS EXTERNALIDADES. ....	26
ILUSTRACIÓN 1-4. ESTÁNDARES DE CONTAMINACIÓN Y CUOTAS POR EMISIÓN. ....	29
ILUSTRACIÓN 3-2. CAUSAS QUE OBSTACULIZAN LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA A LOS PAISES.....	47
ILUSTRACIÓN 5-1. CICLO DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN. ....	77
ILUSTRACIÓN 5-2. IMAGEN DEL SISTEMA DESARROLADO EN LA UVI.....	85

## INTRODUCCIÓN

**D**entro de una gran cantidad de características atribuidas al desarrollo rural sustentable por distintos autores, las metas más importantes deben ser, asegurar la oferta de los productos agrícolas necesarios para el mercado interno sin más deterioro del ambiente y proporcionar una calidad de vida digna para los productores. Para esto deben canalizarse al agro servicios de todo tipo propiciando una adecuada relación de precios que haga rentable la actividad, pues la sustentabilidad solo es posible si los agricultores pueden mantenerse económicamente como productores.

En la actualidad las políticas de los grandes productores de alimentos como Europa y Estados Unidos, este último con el famoso “*Farm Bill*” que incrementa los subsidios con el consiguiente estímulo a la producción acentúa la baja en los precios internacionales de alimentos. Lo que ha representado una fuerte competencia para los productores agrícolas de países con economías emergentes como México, ya que al tener que comprar alimentos en el mercado mundial se revierte en forma de mayor dependencia económica y política hacia estos proveedores de alimentos, con la consecuente contracción de la industria alimentaria interna.

La formación de sistemas económicos de grandes bloques comerciales, al interior de los cuales los socios con asimetrías se transforman en fuertes competidores por la producción y el consumo de los bienes agropecuarios, ponen en discusión la seguridad alimentaria de los países en desventaja. Tal es el caso de México, que desde 1994 ha establecidos tratados de libre comercio con 35 países, todos los cuales incluyen un capítulo agropecuario. Si México no logra mayor eficiencia en la producción agrícola, están sentadas las bases jurídicas y económicas para la enajenación de todas las tierras agrícolas y para que se destruya la planta productiva de básicos y de otros productos, debido a la desigualdad de condiciones de producción, principalmente con los socios comerciales de América del Norte, lo que ya ha ocasionado importaciones crecientes de granos estadounidenses. El agricultor mexicano debe aprender a tomar decisiones para competir bajo las condiciones actuales de mercados abiertos, donde la información y la tecnología desempeñan un papel fundamental.

Bajo este contexto de asimetrías entre nosotros y nuestros principales socios comerciales debemos tener en cuenta la importancia que implica el estudio de los procesos en el cambio tecnológico y de su transferencia con el objetivo de competir y preservar una industria clave para cualquier economía.

Además de los aspectos económicos y políticos inherentes a la problemática mexicana también deben considerarse los conservacionales que implican además de la disminución del uso de agroquímicos y el desperdicio del agua, la preservación de bosques y selvas principalmente, importantes por su valor ecológico y cultural. Sin cambios en las formas de uso de nuestros recursos naturales, que a la vez estén acompañadas de un proceso de desarrollo tecnológico concertado y ad-hoc a las características heterogéneas del país, mucho de nuestros ecosistemas frágiles, como con las zonas semiáridas y tropicales, verán desvanecer las perspectivas de mejorar la calidad de vida de la población y a consecuencia de ello, es probable que las tensiones sociales y económicas puedan identificarse.

### **Relevancia científica y profesional de la investigación**

Por lo que respecta a este estudio se presentan aspectos teóricos de la economía que resaltan la importancia del impulso tecnológico en cualquier economía que garantice condiciones de competencia óptimas y se sienten las bases para consolidar industrias prósperas. Bajo el correcto esquema de transferencia de tecnología puede conseguirse un proceso de adaptación que sienta las bases a la sostenibilidad económica. En el caso específico de este estudio se estima que puede adaptarse un sistema complementario entre los productores de la zona Maya que permita mejorar sus formas de producción y su calidad de vida, al tiempo que se disminuye la presión que se hace sobre los recursos naturales.

Para la producción agropecuaria se requiere de la participación combinada de diferentes clases de insumos primarios: trabajo, recursos naturales y capital. Es un proceso de administración de recursos con cierto nivel de complejidad. En cualquier análisis de producción para determinar el máximo nivel de producto se obtiene de acuerdo a un determinado nivel de insumos. De las técnicas disponibles, la unidad de producción escoge una que minimice los costos de los factores de la producción, dicha optimización puede darse en capital o en trabajo.

El sistema propuesto brinda la oportunidad de minimizar los costos en la función de producción, ya sea de capital o trabajo como lo establece la teoría neoclásica (Coombs et al., 1987). Esta puede alcanzarse al reducirse la aplicación de trabajo, pero si se privilegian estos en un contexto como el aquí presentado pueden producirse desequilibrios como la inmigración a otros sectores, la economía informal, etc. Una de las principales virtudes del Sistema Recirculante Acuaponia “RAS” (por sus siglas en inglés) es el bajo consumo de mano de obra lo que brinda la posibilidad de encauzarlo a otras actividades agroforestales en el esquema de diversificación tales como la producción de maderas y cítricos; adicionalmente la Acuaponia como sistema de productivo representa el factor tecnológico que hace eficiente la utilización de insumos lo que representa un ahorro sustancial en capital y un desgaste innecesario de recursos.

Además de esto contribuye a reducir los costos sociales por degradación medioambiental (erosión, salinización de suelos, deforestación, destrucción de la biodiversidad, etc.), siendo entonces sustentable.

Incorporando el *factor tecnológico* dentro de los esquemas tradicionales de producción agropecuaria y en general para cualquier actividad económica se mejora sustancialmente la productividad y por ende el ingreso. La persistencia en el uso de estilos o técnicas de producción obsoletas constituye el lastre que redundará en la ineficiencia productiva y la degradación ambiental. Por lo que toca a este trabajo los esfuerzos se enfocarán en satisfacer las necesidades productivas del sector agrícola con la integración de un sistema como el RAS buscando diversificar la producción y el menor agotamiento posible de recursos no renovables.

Aquí se presenta un diseño bajo bases teóricas científicas sobre cómo mejorar las condiciones productivas y el ingreso, al tiempo que se fomente una visión empresarial integral entre los participantes sobre la importancia de la producción eficiente. En este contexto, se propone un concepto productivo que será demostrado en cuanto a su eficiencia económica, al tiempo que se reduce en buena medida las prácticas agrícolas tradicionales que degradan el medio natural tal como la RTQ (roza, tumba y quema). Con el sistema Acuaponia recirculante (RAS, por sus siglas en inglés) para la producción de hortalizas y peces podrán conseguirse resultados diversos positivos como la sedentarización de predios, la seguridad alimentaria entre los productores y sus familias, así como la reducción en el cambio del uso de suelo por los desmontes graduales.

Como primer alcance, la sedentarización de los predios es posible por la sencilla razón de que la técnica propuesta comprende de un invernadero con capacidad fija instalada. Como segundo logro, es la provisión continua entre los productores y sus familias de las fuentes de alimento que satisfagan sus necesidades nutrimentales, esto es posible debido a que el sistema cuenta con dos grandes componentes productivos interdependientes, el hidropónico para la producción de hortalizas, y el acuícola para peces. Así mismo, es posible conseguir producir de manera orgánica lo que brinda la posibilidad de penetrar mercados con mayores ganancias y reducir costos en agroquímicos y otros elementos de control orgánico. Siguiendo con los atributos de la técnica cabe destacar la precocidad del crecimiento en las cosechas que por ser bajo esquema de producción controlada permite una alta rentabilidad productiva, bajo consumo de mano de obra que con el adecuado modelo de diversificación productiva y de comercialización puede implantarse una forma productiva sostenible y generadora de empleos entre las comunidades en un largo plazo.

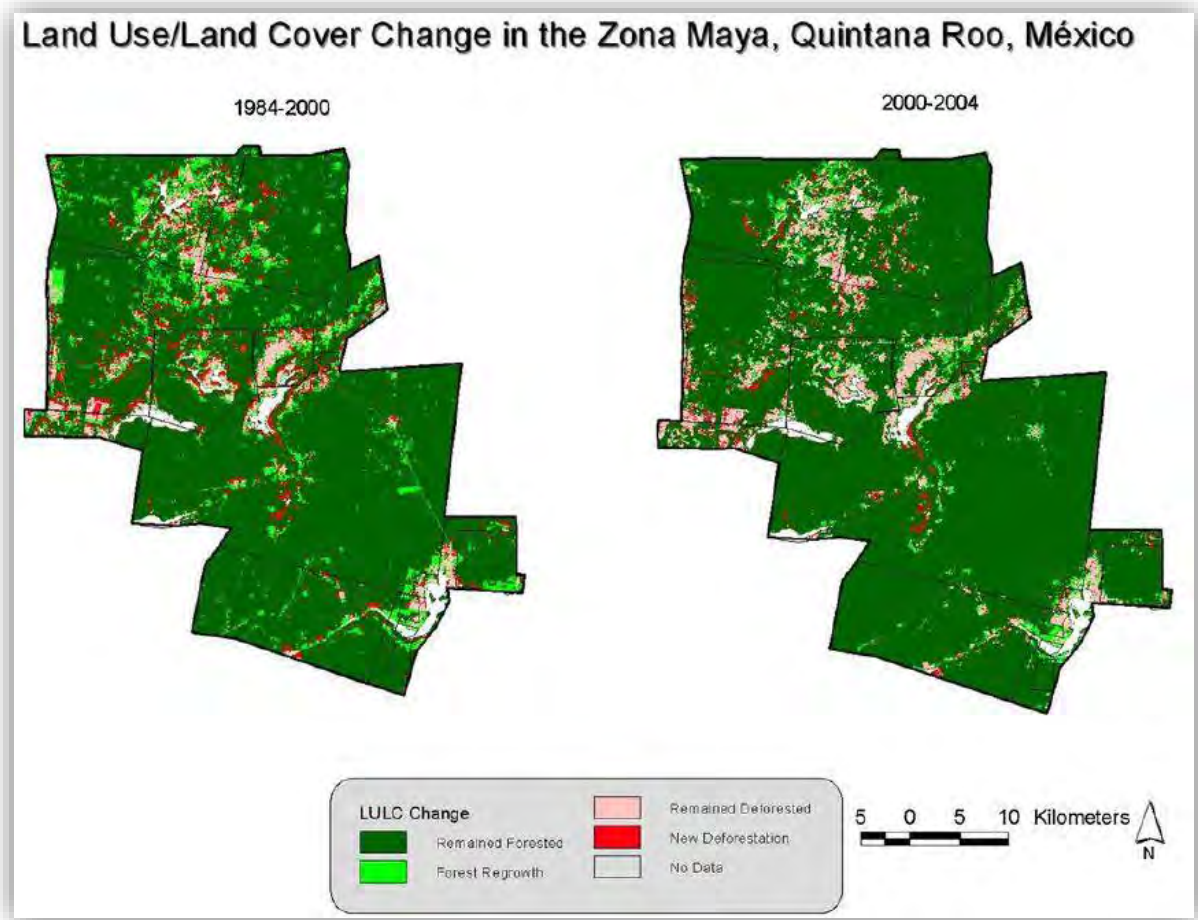


## Justificación

### Escenario Actual.

1. La Península de Yucatán es considerada uno de los “focos rojos” en deforestación a nivel mundial. El patrón espacial de la distribución de las tasas locales de deforestación indica que las mayores tasas de pérdida de bosque se localizan en el Estado de Quintana Roo.
2. En el Estado de Quintana Roo, los tipos de vegetación dominante son; la selva perennifolia, selva subcaducifolia y selva caducifolia; la principal tendencia en su fragmentación fue la reducción del bosque interior que pasó de 55% a 39% de 1990 a 2000. La fragmentación de bosque perforado aumentó de 21% a 27%; la fragmentación en parches de 13% a 19%; la fragmentación en transición de 8% a 12%, y la fragmentación de borde se mantuvo alrededor de 2%. Figura 2-1.

Ilustración 0-1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA COBERTURA FORESTAL DE LA ZONA MAYA Q.ROO.



Recuperación de cobertura forestal con EFC en la Zona Maya, Quintana Roo, México. Fuente: (Ellis & Porter, 2008)

3. A partir de estos valores la tasa de deforestación en la región y los patrones de cobertura forestal históricos, se realizaron proyecciones de la cobertura forestal para el 2010. Los resultados muestran que para 2010 cerca del 53% del área estaría sin cobertura Forestal.
4. Los municipios de Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos y Othón P. Blanco se encuentran dentro de las áreas prioritarias de conservación de la biodiversidad (SEMARNAT 2000), y paradójicamente concuerdan con los niveles alto y medio de marginación social y pobreza.
5. Esta zona también resguarda el segundo macizo forestal más importante en el continente después de la amazonia sudamericana. Esta región, es parte de lo que se conoce como “selva Maya”, que es un continuo forestal que comprende los Estados de Campeche y Quintana Roo en México, la región del Peten Guatemalteco y gran parte de Belice; reconocido como Corredor Biológico Mesoamericano, es una región rica en flora y fauna endémica.
6. En la tercera parte de la superficie total del Estado se llevan a cabo importantes procesos de recarga-infiltración de agua, calificadas con potencial que va de alto a muy alto, lo que sugiere que su incorporación al programa PEP tendría el doble beneficio de conservación de por lo menos dos funciones ecosistémicas: la hidrológica y la protección de la biodiversidad asociada a estos sistemas.
7. Quintana Roo posee uno de los sistemas hidráulicos subsuperficiales más importantes a nivel mundial. La interacción de sistemas acuáticos y terrestres sostiene uno de los arrecifes coralinos y uno de los sistemas de humedales más extensos e importantes del continente.
8. En el Estado, El Jardín Botánico de El Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, desarrolló una investigación para identificar las Áreas Ejidales que de manera voluntaria determinaron una superficie en conservación (no tala, no quema, no caza) en dos municipios de la Zona Maya (Felipe Carrillo Puerto y José Ma. Morelos), detectándose cerca de 100,000 hectáreas bajo este esquema.

9. La SEDARI-SAGARPA-ECOSUR realizaron 2 foros municipales y uno estatal, con amplia participación de autoridades ejidales, instituciones gubernamentales, ONG, IP, etc. Con la finalidad de difundir la experiencia de estos ejidos en sus Áreas Voluntarias de Conservación, sus compromisos, propuestas y necesidades para su manejo.

### **Escenario Tendencial.**

1. Las reducción de extensiones de selva afectarán el ciclo hidrológico y la dinámica de los suelos, aumentando la erosión, alterando la composición y calidad del suelo con repercusiones en la productividad (de por sí escasa) de las tierras y por tanto la actividad agrícola de la región.
2. Al actuar como reservorio de dióxido de carbono, con su reducción, es probable que se liberen a la atmósfera cantidades de CO<sub>2</sub> que contribuyan al efecto invernadero y al calentamiento global.
3. La reducción de extensiones de selva alteraría el desempeño de los manglares con efectos en la productividad de las pesquerías y en otros recursos marinos vitales para la economía de los habitantes.
4. Procesos ecológicos, como la polinización, podrían verse afectados propiciando mermas significativas en la producción de miel, actividad relativamente exitosa en la región y que depende de este servicio de polinización.
5. Procesos ecológicos, como la dispersión de semillas, y con esto la regeneración natural de la selva, podría perderse por la desaparición de hábitat de los dispersores y polinizadores como aves, murciélagos y otros mamíferos.
6. El servicio que proporcionan los ecosistemas a los habitantes de la región para su subsistencia podría verse interrumpido de continuar la tala masiva de selva.
7. De perderse el valor escénico en la región, resultado de la variedad de ecosistemas; flora, fauna, lagunas, sitios arquitectónicos y las actividades humanas que se realizan ahí, se vería afectada la actividad turística.

8. Desde el punto de vista de la prospección de nuevos productos con fines farmacéuticos, la selva representa un potencial económico de gran valor.
9. La selva es un gran reservorio de información genética escasamente conocida, si esta información se perdiera como efecto de la destrucción, desaparecería con ello un importante capital natural.

## Objetivo

Crear una propuesta integral eficiente bajo el esquema del Sistema Acuaponia Recirculante (RAS) como un proyecto dirigido a mejorar las prácticas productivas en tierras agrícolas frágiles (altamente degradadas) que mejore los ingresos de los productores Quintanarroenses con el Estado como controlador del manejo responsable de los recursos naturales.

## Objetivos Específicos

1. Estudiar la importancia que tiene para la economía el manejo de los recursos comunes, los efectos que se producen a partir de contextos diferentes; el papel del Estado como regulador, los sectores productivos como usuarios y transformadores de los recursos, y la sociedad con sus modos de consumo y su interés paliativo.
2. Destacar la importancia de incorporar la variable tecnológica dentro de los factores de la producción según las bases teóricas e informes internacionales. La sostenibilidad en el desarrollo como variable de sustentabilidad ecológica, etc.
3. Redactar un marco de referencia que describa las condiciones rurales de la selva maya, que plantee las posibilidades del desarrollo de producción integral.
4. Documentar la base científica sobre la técnica de la Acuaponia basado en los estudios, resultados y prácticas más sobresalientes.
5. Explicar el modelo de transferencia tecnológica agrícola de la UACH a la transición integral del Sistema Recirculante Acuapónico (RAS), sus principios orgánicos y esquemáticos permitiendo con ello el aprendizaje de la técnica y el proceso de adaptación a un nuevo sistema productivo que aliente la diversificación productiva de las comunidades ejidales fortaleciendo el Solar, o incorporando un sistema tipo Taungya<sup>1</sup> que aprovecha la producción agroforestal, construyendo al mismo tiempo una filosofía empresarial de racionalidad en el uso y consumo.
6. Estudiar la forma adecuada para producir la energía necesaria a través de las fuentes renovables, con el objeto de cumplir con los principios de sustentabilidad de diversos

---

1. Es la producción de productos agrícolas, forestales y frutícolas, combinados en el mismo terreno y al mismo tiempo.

programas de gobierno, coadyuvando así en la reducción de costos ambientales y económicos.

7. Desarrollar un sistema que optimice el aprovechamiento del agua bajo teorías hidráulicas y biológicas que atiendan las necesidades del sistema sin interrumpir la dinámica en los ciclos, evitando el desperdicio y el abastecimiento por fuentes externas.
8. Demostrar con un estado de resultados los niveles de riesgo y viabilidad económica desde la fase de la inversión hasta el comportamiento empresarial proyectado a 6 años.

### **Hipótesis**

Si se integra un componente tecnológico como el Sistema Recirculante Acuapónico (RAS) para restituir prácticas tradicionales arcaicas como el de RTQ por los productores de la zona maya se logra la eficiencia productiva en la actividad agrícola incrementando consecuentemente su ingreso, así como la preservación de los recursos no renovables.

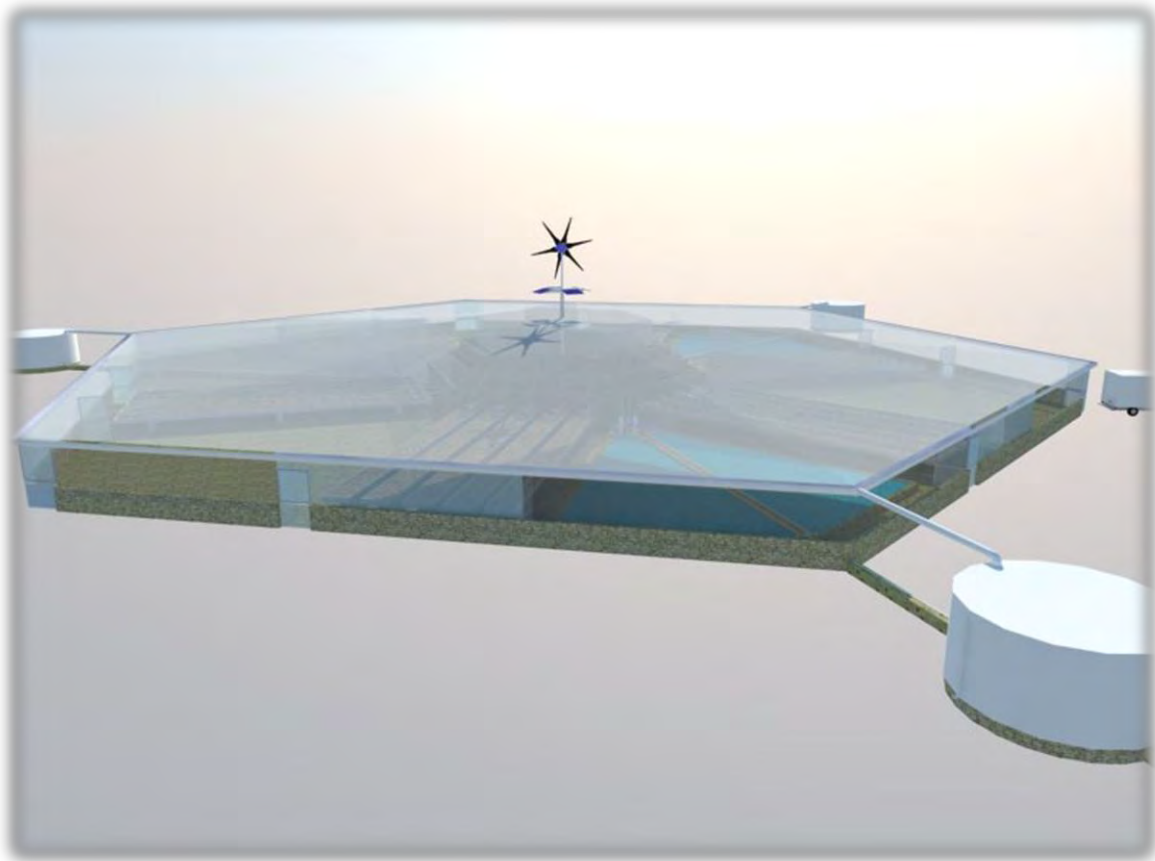
### **Para nuestro caso de estudio**

Si algunos productores lograran reducir importantemente el impacto de la contaminación que generan, digamos hasta niveles cercanos a cero sin que esto pudiera costarle su permanencia en el mercado podríamos estar entonces frente al escenario ideal. Por un lado, beneficios y costos marginales privados igualados constituyen la estabilidad financiera y subsistencia en el mercado. Al mismo tiempo niveles cercanos a cero constituyen efectos sociales económicos importantes como el mejoramiento de la salud de los habitantes en la localidad por ejemplo, mayor valor de la propiedad privada de zonas aledañas, mayor utilidad en los subsidios, bosques más saludables, etc.

A partir de aquí denominaremos como “CRTQSE” a -Cooperativa roza-tumba y quema del Sureste- una empresa inexistente que usaremos para ejemplificar a partir de ahora ciertos conceptos abordados en este trabajo. Siguiendo con la idea del párrafo anterior supongamos entonces que idealmente CRTQSE logrará reducir importantemente el impacto de la contaminación que genera, digamos hasta niveles cercanos a cero sin que esto pudiera costarle su permanencia en el mercado. Por un lado CRTQSE no vería comprometida su permanencia en el mercado, ya que los beneficios y costos marginales privados igualados constituirían estabilidad financiera. Y por el aspecto social el manejo de niveles cercanos a cero traería beneficios económicos casi inmediatamente sobre tal externalidad tales como,

mejoramiento en la salud de la población, mayor valor de la propiedad privada de zonas aledañas, mayor utilidad de subsidios, bosques más saludables, etc.

Ilustración 0-2. GRANJA AUTOSUFICIENTE ACUAPÓNICA





## MARCO DE REFERENCIA

En esta parte se muestran fundamentos y teorías que la economía ofrece para comprender mejor la importancia de los recursos comunes y los bienes públicos, así como la inminente necesidad de que el Estado intervenga como regulador de las fallas para determinar un costo económico que evite el consumo desmedido. También se describen algunas teorías que resaltan la importancia de tecnificar los procesos industriales para lograr una mayor productividad.

Todo el mundo necesita aire limpio, tierra no contaminada, agua limpia, biodiversidad intacta y buen nivel de vida. Perturbar la intrincada red de los ecosistemas naturales pueden sorprendernos con desastres ambientales de dimensiones catastróficas. Hardin (1968) señala:

*"la ruina es el destino hacia el que todos los hombres se dirigen, cada uno persiguiendo su propio interés en una sociedad que cree en la libertad de los comunes"*

En la lógica de Hardin cada uno tiene acceso libre a los comunes, por lo que cada individuo se asigna el derecho a tomar los recursos primero y/o dejar sus desechos. Para incrementar el beneficio particular, cada individuo cree que puede hacer uso de los recursos a la vez que puede distribuir los costos entre los individuos con quienes el común es compartido dando como resultado una ganancia particular considerable y un costo social insignificante; sin embargo, si cada persona que pertenece al común lo hace igual, los costos sociales suman a un agravio significativo que abruma la sostenibilidad del mismo común.

Hay algunos que creen en el oscuro escenario que sostiene que la humanidad tendrá que practicar un desarrollo económico “sustentable” y aprender a vivir dentro de los límites de sus escasos recursos naturales o sufrirá terribles e irreparables consecuencias.

Y en el otro extremo están los cornucopianos, los que creen en el cuerno de la abundancia que aseguran estamos lejos de acabar con los recursos naturales. En esta visión optimista se espera se tenga un crecimiento económico ilimitado y un estándar de vida creciente, ya que la inventiva humana podrá resolver cualquier problema ambiental. Esta teoría estima que si por ejemplo un recurso natural no renovable como el petróleo se agotara podrá contarse con el carbón, si este se termina también entonces los altos precios de la energía deberán conllevar a la utilización de la energía alternativa, como la eólica, o solar. Los cornucopianos ven a la tecnología, al crecimiento económico y a las fuerzas del mercado como los redentores, no como a los villanos.

En realidad los recursos naturales son todos importantes. Agua, tierra y atmósfera conforman estos. La tierra nos da alimento a partir de los suelos fértiles, así como petróleo y otros minerales fundamentales. Las aguas nos dan peces, recreación y un medio de transporte notablemente eficiente. La atmósfera nos proporciona el aire que respiramos, bellas puestas de sol y un espacio para volar. De cierta manera los recursos naturales y el ambiente constituyen otro conjunto de factores de producción, como trabajo y capital.

Regresando con la denominada “*tragedia de los comunes*” de Hardin, esta es provocada por una externalidad negativa. Ejemplifica con un rebaño perteneciente a una familia que pasta en las tierras comunales de un pequeño pueblo de montaña reduciendo la calidad de los pastos para otras familias. Como ninguna de ellas tiene en cuenta esta externalidad negativa cuando decide el número de ovejas que va a tener, el resultado es un excesivo número de estas y una pérdida de la calidad de la tierra. Hardin concluye:

*“He ahí la tragedia. Cada hombre está encerrado en un sistema que le lleva a aumentar su cabaña sin límite en un mundo que es limitado. La ruina es el destino hacia el que todos los hombres se dirigen, cada uno persiguiendo su propio interés en una sociedad que cree en la libertad de los comunes”* (Hardin, 1968).

Por tanto esta tragedia a la que se refiere el autor establece que los bienes comunales se utilizan más de lo deseable desde el punto de vista de la sociedad en su conjunto por lo que esto nos lleva a la ineficiencia económica, ya que se debilitan los incentivos para que las personas decidan invertir en la reproducción del recurso. Mientras no pueda excluirse a

otros a que utilicen el recurso, será la difusión de la inversión o restricción voluntaria lo que pueda incentivar un aumento al beneficio.

Aun si se diera el caso de que la proporción de los beneficios excediera el costo para un individuo, puede suceder que los otros se dieran cuenta de esto y debido a la no exclusividad del recurso decidieran beneficiarse con la inversión que realiza, y por lo tanto no realizar ninguna inversión en la reproducción del recurso. En algunos casos, el Estado puede resolver el problema de los bienes comunes reduciendo su uso por medio de la regulación o con impuestos y otros instrumentos como veremos más adelante.

## **1 Los Bienes Públicos y los Recursos Comunes**

Un aspecto fundamental inherente a los mercados de cualquier tipo es el derecho de propiedad del bien (o servicio), estos deben estar perfectamente definidos con el objeto de establecer la titularidad del bien en cuestión y establecer un precio que le de valor económico.

Si los bienes que tienen valor económico pero cuya propiedad no está determinada, se impide que pueda haber una negociación que permita fijar un precio, por ejemplo, una atmósfera limpia sin contaminación, tiene valor económico (es beneficiosa para la sociedad), pero no tiene propietario. Cuando no hay propietario se puede utilizar el bien gratuitamente, sin pagar por él, esto presenta el peligro de un mal uso y el despilfarro. Estos bienes de uso gratuito se pueden agrupar en dos grandes categorías (Mochón & Beker, 2008):

a) Bienes públicos. Son de libre acceso para todo el mundo (no se puede restringir su uso) y son ilimitados (su uso por una persona no limita el uso por otros interesados). Por ejemplo, las playas, los ríos, el aire, la defensa nacional, la seguridad ciudadana.

b) Recursos comunes. Son de libre acceso (no se puede restringir su uso) pero son limitados (su uso por una persona sí limita el uso por otros interesados). Por ejemplo, la pesca, la caza, los servicios de urgencia de un hospital. El libre mercado no funciona correctamente cuando nos encontramos ante estos tipos de bienes: Al carecer de precio los mercados no pueden garantizar que estos bienes se compren y se vendan en la cantidad adecuada

(aquella que maximiza el beneficio total), a estos bienes en la teoría económica también se le conoce como “*inapropiables*” ya que los beneficios o costos no se acumulan a sus consumidores o propietarios. Dicho de otra manera, los recursos *inapropiables* son los que tiene que ver con externalidades.<sup>2</sup>

Ejemplos de recursos comunes *inapropiables* hay muchos. Por ejemplo, la disminución de las reservas de caracol rosado en la isla de Cozumel. Un grupo de caracoles no sólo puede proporcionar una exquisitez para los restaurantes, sino también una reserva para la cría de futuras generaciones de esta especie. Ahora, el potencial de cría no se refleja en el precio del caracol en el mercado. Esta es la razón por la que los pescadores de caracol rosado no controlados tienden a pescar de manera exagerada, lo cual provoca la reducción y extinción de este invertebrado en algunas zonas. Ningún mercado compra o vende el comportamiento de apareamiento del caracol. Por lo tanto, cuando un pescador captura caracol no compensa a la sociedad por la disminución del futuro potencial de cría.

Así, todo lo anterior genera una de las conclusiones fundamentales de la economía de los recursos naturales y del ambiente:

*”Cuando los mercados no captan todos los costos y beneficios de un recurso natural, y existen externalidades importantes, los mercados envían señales equivocadas y los precios se distorsionan. En general, los mercados producen demasiado de los bienes que generan externalidades, y muy poco de los que producen externalidades positivas”.*

### 1.1 Asignación de los recursos naturales apropiables

Dado que los recursos naturales se clasifican en apropiables e *inapropiables* según existan o no externalidades importantes involucradas en su producción y consumo, hay que resolver el interrogante económico sobre todo en los recursos naturales ya que estos al ser finitos como el petróleo o los ecosistemas complejos se debe realizar una administración prudente que maximice el valor del recurso.

El debate como se ha señalado radica en si vale o no la pena hacer uso desmedido o no de los recursos comunes donde los economistas tienden a considerarlos en una categoría

---

<sup>2</sup> (Las *externalidades* son aquellas situaciones en las cuales la producción o el consumo imponen costos o beneficios no compensados a terceras partes).

especial de activos productivos junto con las computadoras, el capital humano y el conocimiento tecnológico. Pero ambos economistas y ambientalistas coinciden en que esta generación debe dejar una reserva adecuada de activos de capital para las generaciones futuras; aunque en realidad los economistas se preocupan más por la productividad *que en la forma exacta de capital*, también se preguntan si las generaciones futuras verdaderamente se beneficiarían más de reservas abundantes de capital como petróleo, gas y carbón o de capital más elaborado como más científicos, mejores laboratorios y bibliotecas conectadas por supercarreteras de la información.

Este planteamiento desde el punto de vista de la economía demuestra que un alto nivel de capital natural preservado llevaría necesariamente un bajo producto en capital humano en el futuro, esto porque necesariamente tendría que hacerse muy cara la energía dejando pocos recursos para el avance científico y tecnológico, es decir detendría el crecimiento de una economía. Por el otro lado un uso de capital natural que siguiera permitiendo la energía a bajo costo, seguiría permitiendo el desarrollo de la actividad económica y con ello el desarrollo de la ciencia y las soluciones integrales de estos problemas para generaciones futuras, dejando al mismo tiempo reservas para el futuro. El planteamiento estimula el crecimiento de la economía con energía de bajo costo, y una cuota fundamental de estos recursos productivos para el avance tecnológico que permita a la ciencia encontrar la solución a la mayoría de los problemas ambientales.<sup>3</sup>

## 1.2 Sustituibilidad de capital natural y humano

La siguiente, sería demostrar gráficamente el planteamiento anterior con respecto a la disyuntiva de si seguir o no explotando nuestros recursos naturales, en una curva de indiferencia o “isocuanta” y se analiza la sustituibilidad de capital natural y de capital humano, si todos los demás elementos son constantes. La curva de indiferencia está

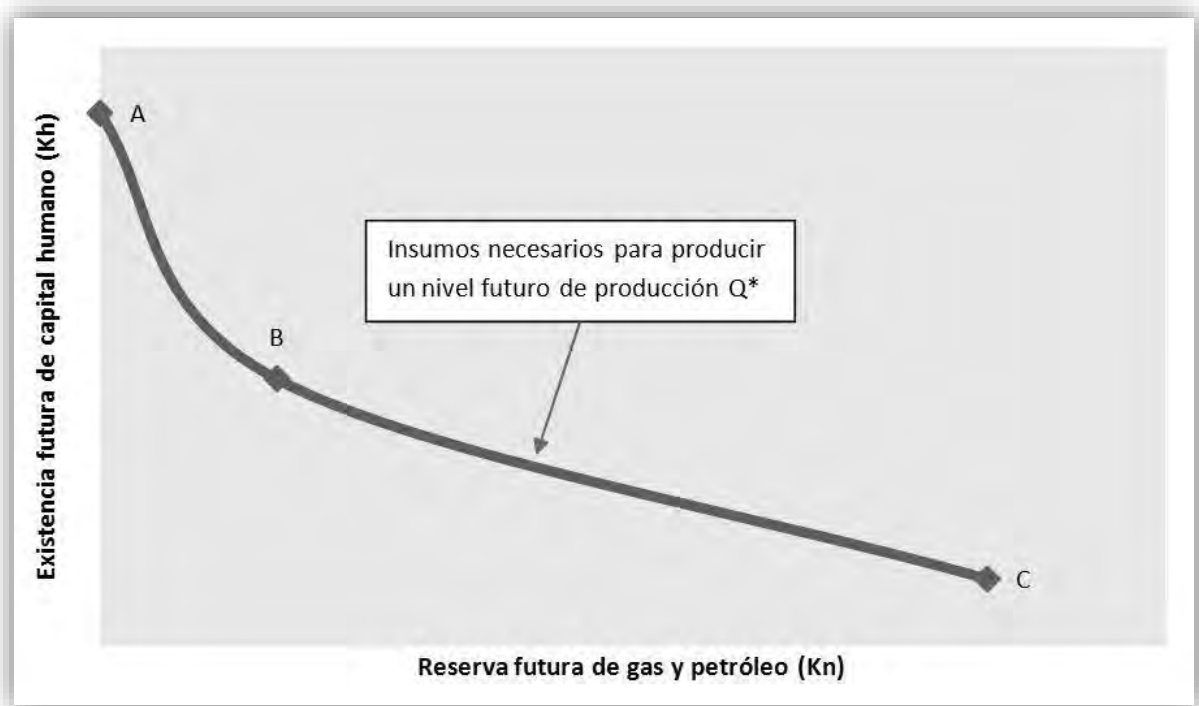
---

<sup>3</sup> Estas tendencias coinciden con el estudio de Malthus, donde la influencia de los cambios en la tecnología y los descubrimientos sobre la reducción de los precios, ha contrarrestado el efecto del agotamiento sobre la elevación de los precios. La tendencia es que los sectores de la economía han remplazado las materias primas no renovables por materias primas mucho más baratas y abundantes. Como el caso de la sustitución de las líneas de cable de cobre por cable óptico. De hecho en este estudio se propone un proyecto que replazce las formas existentes de producción que consumen grandes cantidades de recursos naturales de “bajo costo”, por una alternativa de técnicas más baratas y eficaces que se contraponen al agotamiento del capital natural sobre precios elevados.

determinada por (Q) en el futuro. En el punto C se obtiene un producto mediante una política conservacionista que da muy alta importancia a la reducción de la energía hoy, dejando para el futuro mucho petróleo y gas, pero relativamente poco capital humano. O puede producir este mismo (Q) en el punto B con un menor precio de la energía.

También se sostiene el caso en el que la isocuanta toca el eje vertical en el punto A, que indica que se pueden elaborar niveles de producción (Q) *sin nada de petróleo o gas*. Esto sería posible debido al mayor conocimiento científico y técnico representado en el punto A, la sociedad puede desarrollar e introducir tecnologías sustitutas que reemplazaran a los insumos fósiles agotados por la energía solar, eólica o el carbón limpio. La curva representa entonces que en el largo plazo el gas y el petróleo no serán necesarios.

Ilustración 1-1. GRÁFICA QUE EXPLICA QUE EN LA PRODUCCIÓN QUE EL CAPITAL NATURAL Y EL ELABORADO SON SUSTITUTOS.



### 1.3 Las fallas del mercado y el consumidor parasito (*free rider*)

Como sabemos las fallas del mercado en los bienes públicos se presentan cuando se ofrece una cantidad insuficiente de estos (Mochón & Beker, 2008), esto porque no son excluibles en absoluto o lo son pero a un costo muy alto.<sup>4</sup>

Por lo tanto, no se puede esperar que los mercados privados ofrezcan estos bienes ya que tendrían dificultad para garantizar la cantidad correcta, y el consumidor pagaría un precio muy bajo o no pagaría en absoluto por el derecho a consumir el bien. Estos individuos en la literatura económica son denominados consumidores “*parásitos*”.

Para ejemplificar dicho efecto, supongamos que se pide a los miembros de una comunidad ejidal que contribuyan con trabajo y capital para la implementación del Sistema Acuapónico donde el beneficio ecológico será generalizado (no rival y no excluyente). Debido a que los beneficios del sistema alcanzan a todos los habitantes de la misma manera, ningún ciudadano aportaría dinero por el beneficio de la preservación ecológica. Lógicamente si todos esperamos a que los beneficios del aire limpio y una biodiversidad estable lo pagasen otros, este beneficio no sería provisto al final, es por tanto muy importante encontrar incentivos que resuelvan este contratiempo como lo es la intervención oportuna del Estado. En el caso del sistema gracias a que es muy productivo se obtiene un beneficio privado que produce indirectamente un beneficio social.

### 1.4 Análisis de la ineficiencia económica (externalidades)

Dentro de las fallas del mercado encontramos a las externalidades negativas como uno de los efectos que más impacto tienen dentro de la economía, y para efectos prácticos nos remitimos a ejemplificar este fenómeno de la siguiente manera: Supongamos que CRTQSE esparce toneladas de nocivos humos de dióxido de carbono como efecto de su método tradicional de cultivo, parte del CO<sub>2</sub> emitido daña al productor, este efecto “privado” si bien tiene consecuencias negativas como el aumento en las cantidades de cuentas médicas necesarias para tratar afecciones respiratorias familiares, y el coste de repintar sus casas, no es tan importante como el efecto masivo “externo” ya que los efectos impactan a toda la

---

<sup>4</sup> Otra razón para que los mercados fracasen es que el costo de una unidad adicional vendida a un consumidor cualquiera, cuando el nivel de producción está dado, es cero.

región, deteriora bosques tropicales, reduce especies animales endémicas y causa varios desequilibrios ambientales generalizados o hasta la muerte prematura de algunas personas.

En este punto se genera una disyuntiva económica sobre que tanto contaminar, ciertamente los productores y empresas buscan esencialmente maximizar sus propios beneficios, pero deben elegir por presiones externas cuanta contaminación emitir. Por un lado si decide no eliminar nada de contaminación sus propias familias y vecinos sufrirán las consecuencias, pero si por el contrario decide eliminar toda molécula contaminante requeriría de fuertes gastos en tecnologías que reduzcan la emisión de contaminantes. Concluyendo este planteamiento, podemos decir que una eliminación total de contaminantes representaría un costo tal que de ser llevado a cabo podría costarle inminentemente a CRTQSE sobrevivir en el mercado.

Por lo tanto, CRTQSE decide eliminar los contaminantes justo hasta el punto en que los beneficios para la empresa de una *reducción* o eliminación adicional de contaminante (beneficio marginal privado) sean iguales al coste extra de esa eliminación (coste marginal de la reducción).

El planteamiento anterior es ahora sujeto a valores numéricos con el propósito de ejemplificar gráficamente posteriormente. Los contadores de CRTQSE estiman que los *beneficios marginales privados* son de \$100 por tonelada de CO<sub>2</sub> eliminado. Luego, los que asesoran a CRTQSE les hacen saber que la eliminación de 50 de las 400 toneladas emitidas tendrá un coste marginal de \$100 por tonelada. La empresa ha encontrado que el nivel óptimo de reducción de la contaminación es de 50 toneladas, punto en el cual el *beneficio marginal privado* para la empresa igual exactamente al *coste marginal privado* de la reducción. Dicho de otra manera, si CRTQSE contamina al coste mínimo, ponderando solo costes y beneficios privados, establecerá su nivel de contaminación en 350 toneladas de CO<sub>2</sub> y eliminaría 50 toneladas.

Sin embargo, supongamos que se le pide a un equipo de científicos ambientalistas y economistas que examinen los efectos en la sociedad y no las consecuencias que sólo afectan a CRTQSE. Cuando examinan los efectos totales, los auditores encuentran que los beneficios sociales marginales del control de la contaminación –que incluyen mejoramiento



de la salud y mayor valor a las propiedades de las regiones aledañas– son 10 veces mayores que los beneficios privados marginales. El efecto de cada tonelada extra para la empresa es de \$100 pesos, pero el resto de la sociedad sufre un efecto en costos externos adicionales de \$900 pesos por tonelada. Los 900 pesos se excluyen debido a que estos beneficios son externos a la empresa, y no tienen efecto en sus ganancias.

Ahora se aprecia cómo la contaminación y otras externalidades llevan a resultados económicos ineficientes: en un ambiente no regulado, las empresas determinarán sus niveles de contaminación más costeables mediante la igualación de sus beneficios *privados* marginales y el coste *privado* marginal de la reducción. “Si el impacto adicional de contaminación es significativo, el equilibrio privado producirá niveles altos e ineficientes de contaminación, y muy pocas actividades de eliminación de la contaminación”. Es decir, el efecto de cada gasto por parte de CRTQSE tiene un impacto menor, pero el resto de la sociedad sufre un efecto en costos externos adicional mucho mayor, lo cual reflejaría eminentemente la ineficiencia económica.

Así, si analizamos las consecuencias que solo afectan a CRTQSE contra los efectos en la sociedad podremos encontrar concluyentemente que los beneficios totales marginales del control de la contaminación y deforestación –que incluyen mejoramiento de la salud y mayor valor a las propiedades de las regiones aledañas entre otros– son significativamente mayores que los beneficios privados marginales.

#### 1.4.1 Contaminación socialmente eficiente

Como hemos visto las decisiones privadas sobre el control de la contaminación son ineficientes, por lo que se requiere encontrar un nivel de contaminación socialmente eficaz.

5

Para el caso de CRTQSE esta igualdad se presentaría cuando los beneficios marginales para la salud y subsidios en el país, en 1 unidad igualan exactamente a los costos marginales de esa reducción. Suponiendo que los expertos estudian los costes de la

---

<sup>5</sup> “la eficiencia requiere que los beneficios sociales marginales de la reducción igualen a los costos sociales de la reducción” (Samuelson & Nordhaus, 2008).

reducción y el daño ambiental, y determinan que los costos y beneficios marginales se igualan cuando la reducción se incrementa de 50 a 250 toneladas de  $\text{CO}_2$ . A esa tasa de contaminación eficiente, los expertos encuentran que los costes marginales de la reducción son de \$400 pesos por tonelada, y los beneficios sociales de la última unidad eliminada también son de \$400 pesos por tonelada.

Ahora, para la empresa es eficiente reducir 250 toneladas (emitir 150) en lugar de emitir 400 toneladas o reducir a cero toneladas ya que en este límite de emisión se maximiza el valor social neto de la producción.

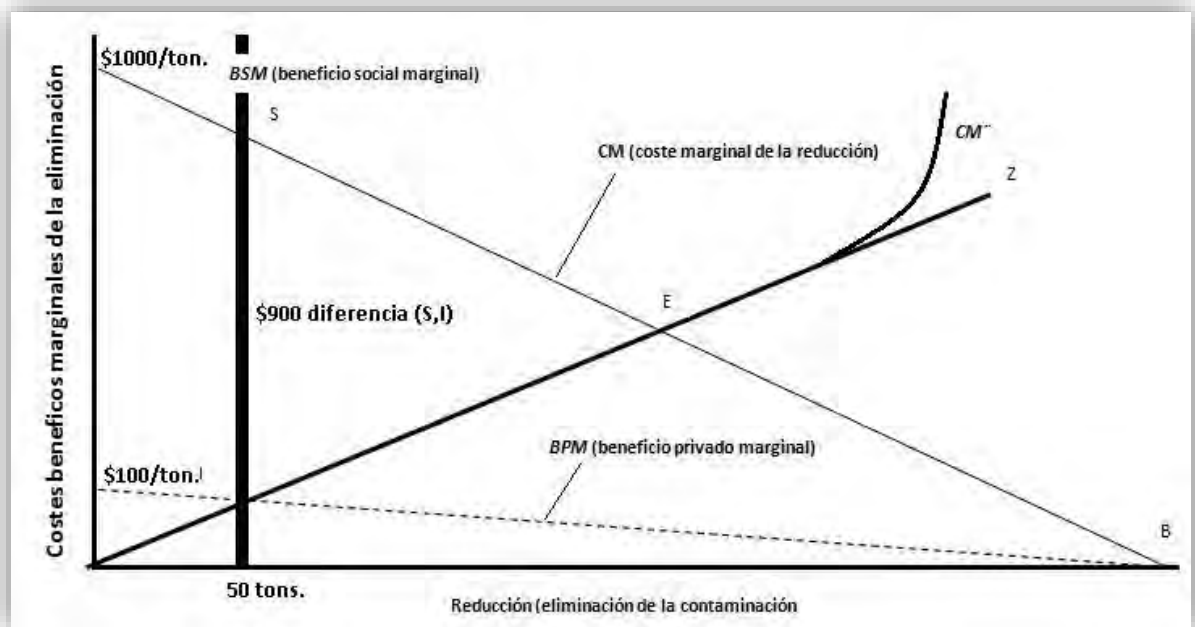
En teoría el análisis coste-beneficio mostrará por que las políticas de cero riesgos o cero descargas son, generalmente, derrochadoras. Reducir la contaminación a cero ocasionaría, en general, costes de eliminación estratosféricamente altos, mientras que los beneficios marginales de reducir los últimos gramos de contaminación pueden ser bastante modestos. En algunos casos, puede, incluso resultar imposible continuar la producción con cero emisiones. Tal filosofía de cero riesgos puede obligar al cierre de la industria de la computación o que se prohíba todo tráfico vehicular. Generalmente, para alcanzar la eficiencia económica se necesita llegar a un punto donde se equilibre el valor extra de la producción de la industria con el daño extra de la contaminación. Sin embargo, se cree que en el futuro no existirá la necesidad imperante de nuestros tiempos de la utilización de combustibles fósiles para la obtención de energía, indispensable para el crecimiento económico. En la actualidad se llevan a cabo ingeniosos esfuerzos alrededor del mundo para desarrollar tecnologías innovadoras que no generen emisiones de gases invernadero y que sean de relativo bajo costo.

Una economía de mercado no regulada genera niveles de contaminación (u otras externalidades) en los cuales el beneficio privado marginal de su producción iguale al costo privado marginal de la reducción. La eficacia requiere que el beneficio social marginal iguale al coste social marginal de la reducción. En una economía no regulada habrá muy poca reducción y demasiada contaminación.

### 1.4.2 Análisis gráfico de la contaminación

Este enfoque se puede ilustrar en la Ilustración 1-2 La curva con pendiente positiva  $CM$  representa el coste marginal de la reducción. La curva con pendiente negativa representa los beneficios marginales de la reducción de la contaminación, mientras que la curva superior continua  $BSM$  muestra el beneficio social marginal de una menor contaminación, y la curva inferior  $BPM$  el beneficio privado marginal de la reducción de la contaminación. 6

Ilustración 1-2. GRÁFICA PARA ENTENDER LA INEFICACIA DE LAS EXTERNALIDADES.



En el punto de equilibrio "I" donde prevalece una condición del mercado no regulado existe una solución que es ineficiente, donde costes y beneficios privados marginales se igualan. En este punto sólo se eliminan 50 toneladas, los costes y beneficios marginales son de \$100 pesos por tonelada, mientras que los costos sociales marginales son de \$1000 pesos

6 Cuando el beneficio social marginal  $BSM$  diverge del beneficio privado marginal  $BPM$ , los mercados generaran un equilibrio no regulado en I, donde existe muy poca reducción o eliminación de los contaminantes. La contaminación eficiente se logra en E donde  $BSM$  es igual a  $CM$ .

con las mismas 50 toneladas reducidas quedando un amplio margen de desbalance entre los costos marginales de \$900 pesos que pesan fuertemente a la sociedad (puntos *SI*).

El nivel eficiente de contaminación se encuentra en el punto E, en donde los beneficios sociales marginales son iguales a los costes marginales de la reducción. En este punto tanto BSM como CM son igual a \$400 pesos por tonelada. También, como CM y BSM son iguales, si se incrementa la reducción en una pequeña cantidad, se encontrará que no hay diferencia entre las curvas, de manera que no hay beneficio neto adicional del control adicional de los contaminantes. También se pueden medir los beneficios netos de la solución eficiente, en relación con la del mercado no regulado, el área ISE representa las ganancias de una eficiente eliminación de contaminantes.

*Un último experimento:* considere una filosofía de cero riesgo según la cual se desea eliminar hasta la última partícula contaminante (aquí la reducción sería de 400 unidades). En la Ilustración 1-2, los beneficios sociales marginales son cero sin ninguna contaminación en el punto *B* por que la última partícula no perjudica (cero gastos médicos por enfermedades respiratorias, cero depreciaciones en el precio de las propiedades privadas de zonas aledañas, etc.). En cambio, en punto *Z* los costes marginales son relativamente altos. (También se muestra un caso especial mostrado por la línea  $CM'$ , donde los costos marginales se vuelven enormes con cero contaminaciones. Por ejemplo, resultaría tremendamente costoso reducir toda la contaminación proveniente del uso de la energía). Por lo tanto toda el área EZB podría hacer quebrar muchas economías y esto muestra a los economistas escépticos de un planteamiento de cero riesgos.

### 1.4.3 Políticas para corregir externalidades

Para corregir las externalidades negativas es necesario echar mano de un tercero en la mayoría de los casos que regule las ineficiencias económicas a través de diferentes instrumentos de mando y control que puedan encontrar niveles óptimos de eficiencia económica. La figura del Estado funge como regulador de estas ineficiencias en la mayoría de los casos con diferentes instrumentos a su alcance que trataremos en seguida.

#### 1.4.3.1 *Programas de Estado*

**Regulaciones sociales, Controles directos.** Los gobiernos emplean controles regulatorios directos sobre todo en externalidades relacionadas con la salud y la seguridad. En estos se imparten detalladas instrucciones sobre la tecnología que debe utilizarse para controlar la contaminación y se indica dónde debe aplicarse. Este tipo de controles directos prácticamente no deja margen para aplicar métodos nuevos ni para negociar con otras empresas (Mochón & Beker, 2008).

#### 1.4.3.2 *Soluciones basadas en el mercado:*

El tipo de instrumento más sugerido por los economistas para combatir la ineficiencia provocada por las externalidades en la política ambiental, es el que recurre a los incentivos económicos. En este sentido, hay dos clases de soluciones empleadas, *las cuotas por emisiones y los permisos transferibles de contaminación.*

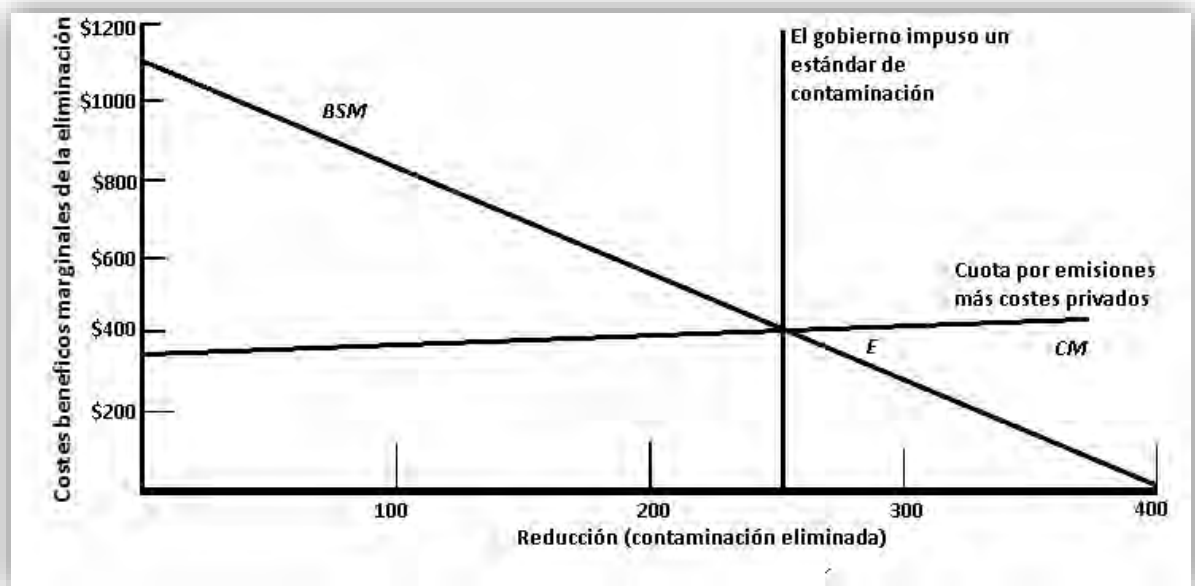
#### 1.4.3.3 *Cuotas por emisiones*

Estas requieren que las empresas paguen un impuesto por la contaminación que producen, generalmente de carácter unitario, igual a la cantidad de daño externo ocasionado.

En la siguiente grafica se muestran los métodos alternativos. En el método de control directo, el gobierno simplemente indica a las empresas eliminar 250 toneladas de contaminantes o no emitir más de 150 toneladas, lo cual colocaría el estándar sobre la línea vertical gruesa. Si el estándar estuviera en el nivel correcto, la empresa coincidiría en el punto *E*, con *BSM* igual a *CM*.

En el caso de cuotas por emisión supongamos que el gobierno cobra \$350 pesos por cada tonelada de contaminante emitido. En realidad esto significa que el beneficio privado marginal pasaría de \$50 pesos a \$400 pesos por tonelada. Con este incentivo la cooperativa nuevamente escogería el punto de eficiencia *E*.

Ilustración 1-3. ESTÁNDARES DE CONTAMINACIÓN Y CUOTAS POR EMISIÓN.



#### 1.4.3.4 Permisos negociables de emisión

La solución basada en el mercado que no requiere que los poderes públicos establezcan impuestos es la utilización de permisos o licencias transferibles para contaminar. Al recurrir a este método, en vez de obligar a la empresa contaminante a pagar una determinada suma por unidad de contaminación y permitirle elegir el nivel de contaminación, el gobierno elige el nivel de contaminación máximo y distribuye el número adecuado de permisos. El precio de los permisos para contaminar equivale al nivel de la cuota de emisiones o tasa de contaminación permitida y se fija en función de la oferta y la demanda de permisos. Este método de acción permite que las empresas contaminantes que pueden reducir sus emisiones de forma más barata lo hagan y vendan sus permisos a las que lo necesitan, ya sea para nuevas plantas o porque no tiene mucho margen para reducir las emisiones y les resulta más conveniente comprar permisos que instalar equipos caros contra la contaminación (Mochón & Beker, 2008).

#### 1.4.3.5 *Métodos privados*

En el ámbito general se cree necesaria alguna forma de intervención por parte del Estado en los mercados para corregir las fallas relacionadas sobre todo con la contaminación y otras externalidades. Sin embargo, *derechos de propiedad y responsabilidad legal* pueden sustituir a la regulación del gobierno o a los impuestos. Con este método el sistema legal hace responsable al generador de la externalidad por el daño causado a terceros. Así, se internaliza la externalidad (Samuelson & Nordhaus, 2008).<sup>7</sup>

En algunos lugares del mundo esta práctica está muy arraigada como en los Estados Unidos donde se puede demandar a una empresa por los daños causados derivados de sus productos o servicios, pero en lo que se refiere a externalidades que involucran la limpieza del aire o los fluidos químicos en los ríos por ejemplo (bienes globales), existen limitaciones en la adjudicación de la responsabilidad por la gran cantidad de empresas que contribuyen a dichas externalidades y la dificultad en los litigios para determinar los derechos de propiedad.

#### 1.4.3.6 *El teorema de Coase*

Este método se basa en derechos de propiedad privada, y en la *negociación de las partes* (Samuelson & Nordhaus, 2008). Las ineficiencias provocadas por las externalidades no siempre requieren de la intervención del Estado, ya que muchas de las veces este problema se resuelve con *códigos morales y sanciones sociales* (Mochón & Beker, 2008).

Pero no siempre las partes deciden negociar, en la práctica no tiene mucha aplicación pues los agentes privados difícilmente pueden resolver por sí solos el problema de las externalidades mayormente por los costos de transacción. Pero el principal elemento para los acuerdos es cuando el número de partes interesadas es elevado pues en esos casos la coordinación es muy costosa. Debido a esto la intervención del Estado se justifica para paliar con los efectos de las externalidades.

---

<sup>7</sup> Internalizar una externalidad, "consiste en alterar los incentivos para que las personas tengan en cuenta los efectos externos de sus actos" (Mochón & Beker, 2008).

## 2 EL CRECIMIENTO ECONÓMICO Y EL DESARROLLO

A continuación se describen diferentes conceptos y teorías sobre el crecimiento económico que es impulsado principalmente por todos los elementos que componen la función de la producción pero que se potencializan a niveles muy importantes cuando se incluyen factores tecnológicos. A escala macroeconómica podemos entender al crecimiento económico en un contexto de largo plazo que se produce mediante la expansión del PIB, dicho crecimiento se concreta cuando se desplaza hacia arriba la frontera de posibilidades de producción, debido fundamentalmente según a cambios en la tecnología o en la dotación de factores (Mochón & Beker, 2008). Así pues, el aumento de la producción potencial, es la clave de la elevación del nivel de vida a largo plazo. La producción crece en el largo plazo porque aumenta la dotación y calidad de los factores productivos y porque mejora la tecnología y los mismos principios se aplican a escala microeconómica optimizando nuestros factores de la producción con nuevos métodos de producción o incorporación de tecnología que produzca un aumento en la cantidad de bienes producidos y por tanto mayor riqueza.

### 2.1 Las fuentes del crecimiento económico

Cualquier actividad de tipo empresarial está sustentada bajo cuatro factores de crecimiento. Estos factores son los recursos humanos, recursos naturales, creación de capital y tecnología (Mochón & Beker, 2008):

#### a) Recursos humanos

Estos insumos están formados por la cantidad de trabajadores y los conocimientos que poseen. Muchos economistas creen que la calidad de los insumos de trabajo (conocimientos, destrezas y disciplinas) es el elemento más importante del crecimiento económico.

#### b) Recursos naturales



El segundo factor clásico para la producción son los recursos naturales. Los más importantes son la tierra cultivable, el petróleo y el gas, los bosques, el agua y los recursos minerales.

c) Creación de capital

Muchas de las inversiones de capital son emprendidas por los gobiernos, que establecen condiciones para un sector privado prospero. A esas inversiones se les llama **capital social indirecto**. Samuelson (2008) establece que estos consisten principalmente en grandes proyectos de infraestructura y servicios principalmente; carreteras, irrigación, programas de desarrollo productivo, son algunos ejemplos importantes. Siendo estos públicos y por lo tanto no excluyentes, estos proyectos tienden a crear externalidades positivas que los gobiernos deben proveer eficientemente.

d) Tecnología

Además de los factores clásicos mencionados, el avance tecnológico ha sido un cuarto y vital ingrediente del rápido crecimiento de los niveles de vida. El proceso de crecimiento ha sido un flujo constante de invenciones y avances tecnológicos, y no sólo un proceso de simple reproducción. Europa, América del Norte y Japón han llevado a cabo vastas mejoras en las posibilidades de producción lo que los ha llevado a lo que hoy conocemos. Tan sólo Estados Unidos otorga más de 100,000 nuevas patentes cada año, y millones de otros pequeños perfeccionamientos son cosa rutinaria en una economía moderna.

La relación que existe entre todos estos factores nos da como resultado una *función de producción agregada (o FPA)*, que relaciona la producción nacional total con los insumos y la tecnología. La expresión matemática es  $Q = FA(K, L, R)$ . Donde  $Q$  = producción,  $K$  = servicios del capital,  $A$  representa el nivel de la tecnología en la economía y  $F$  es función de producción. A medida que aumenta la cantidad de alguno de estos factores se espera que la productividad aumente, aunque es probable que tenga rendimientos decrecientes. El mejoramiento de la tecnología ( $A$ ) a través de nuevos inventos o la adopción de tecnologías del exterior se consigue que un país produzca más con el mismo nivel de insumos.

Impulsar el progreso tecnológico ha sido un aspecto importante como objeto de estudio para los economistas, esto, debido a que el impulso al progreso tecnológico eleva los niveles de vida. El cambio tecnológico no es solo un proceso mecánico de sólo encontrar mejores procesos y productos. Más bien, requiere el impulso del espíritu emprendedor (Samuelson & Nordhaus, 2008). Además el progreso tecnológico ha sido el principal factor impulsor del crecimiento económico y de la mejora en la calidad de vida (Mochón & Beker, 2008).

### 3 EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE Y LOS PROBLEMAS SOCIOECONÓMICOS Y ECOLÓGICOS

El concepto de Desarrollo Rural Sustentable desde las visiones hegemónicas, arrastra elementos de indefinición, característicos de paradigmas anteriores que partieron de identificar el desarrollo con el crecimiento y el progreso con lo urbano industrial, generando un concepto de sustentabilidad carente de una definición de lo rural y entendiendo al desarrollo como la negación de lo rural (Rappo & Vasquez, 2006).

Con lo anterior habría que reconocer que la heterogeneidad, la desigualdad e inequidad mundial plantean posibilidades diferenciadas de resguardar los recursos naturales, más aún cuando están en juego las estrategias y derechos de apropiación de la naturaleza. Mientras los países del Norte defienden los intereses de las empresas transnacionales de biotecnología por apropiarse los recursos genéticos localizados en el tercer mundo a través de los derechos de propiedad intelectual, grupos indígenas y campesinos defienden la biodiversidad de sus regiones y su derecho a apropiarse y conservar, el patrimonio que les pertenece histórica y culturalmente. Justamente, es para estos grupos, donde el avance de procesos sustentables, basados en producciones alternativas, como es la agricultura orgánica, podrían jugar un papel significativo, permitiendo a los productores construir alternativas de vida para el largo plazo ya que además de realizar un uso racional de los recursos naturales, recupera las formas tradicionales de producción basadas en el conocimiento transmitido de generación en generación, adaptadas al nicho ecológico en que surgieron; adquiriendo su propio reconocimiento y valorización en el mercado, y planteando opciones de sobrevivencia, en el marco de la producción de alimentos sanos.

Sin embargo, la agricultura orgánica, en el marco de las prácticas de producción alternativas, surge en los países industrializados como una de las respuestas que busca atender las preocupaciones de la sociedad y que actúa desde el ámbito gubernamental, impulsando alternativas tecnológicas de producción agropecuaria que consideren la conservación de los recursos y la salud de la población, pero también el control de los excedentes. El desgaste de los recursos se va traduciendo en la disminución de los niveles de rentabilidad de las inversiones agropecuarias, donde cada vez se necesita invertir más para mantener ciertos niveles de rendimientos y donde los excedentes presionan hacia la

baja el precio de los productos agropecuarios, teniéndose que destinar más recursos para garantizar un cierto nivel de ingresos a los productores.

Un modelo de desarrollo sustentable no es tarea exclusiva de un grupo de políticos y líderes internacionales y nacionales preocupados por “nuestro futuro común”. La construcción de la sustentabilidad es tarea de diferentes y diversos actores que desde sus recursos e historias sociales y ecológicas particulares pueden definir formas de vida locales alternativas además de contribuir en la solución de los problemas globales. Una vida económicamente rentable, socialmente justa y ecológicamente sana puede ser construida desde el reconocimiento que el sistema ecológico global está conformado por diversidad especies y de actores sociales que deben y tienen derecho a existir.

Además los gobiernos deben tomar un papel rector mediante planes de inversión y de incentivos destinados a acelerar la innovación de la tecnología ecológica, así como cambios estructurales encaminados en la sostenibilidad de la producción y el consumo. Es menester reforzar la cooperación internacional y efectuar importantes reajustes en los mecanismos comerciales y financieros multilaterales a fin de que los países en desarrollo lleven a cabo las necesarias transformaciones tecnológicas sin poner en peligro sus aspiraciones en cuanto al crecimiento y la reducción de la pobreza.

### 3.1 La necesidad de la incorporación tecnológica en la agricultura

De acuerdo a un informe de la ONU (2011) la agricultura representa alrededor de un 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero, al tiempo que la utilización del suelo y la correspondiente gestión del agua no resultan sostenibles en muchas partes del mundo. Además, estima que la deforestación representa un 17% de las emisiones mundiales y que causa la pérdida de hábitat, especies y biodiversidad en general.

En cuanto a la energía, sostiene que si bien existen tecnologías que se sabe garantizan una agricultura y una ordenación forestal más sostenibles, que impiden la erosión del suelo y que limitan estrictamente la contaminación que produce en el agua la agricultura, se requiere “*un nivel mucho mayor de innovaciones y difusión de conocimientos*” para que puedan ser adaptadas a las condiciones locales. En el informe también sostiene que hay casi 1.000 millones de personas desnutridas y que se enfrentan a una grave inseguridad

alimentaria, y que la producción mundial de alimentos tendría que incrementarse entre un 70% y un 100% para el 2050.

Por lo tanto, es urgente lograr que la producción agrícola sea ecológicamente sostenible y al mismo tiempo elevarla considerablemente. Es difícil imaginar cómo podría lograrse eso sin una reestructuración a fondo de los sistemas de producción existentes, de las tecnologías y de la infraestructura de apoyo.

La incidencia de los desastres naturales se ha multiplicado por cinco desde el decenio de 1970. En parte, ese aumento puede atribuirse con bastante seguridad al cambio climático inducido por la actividad humana. La deforestación, la degradación de la protección natural de las costas y las infraestructuras deficientes han incrementado la posibilidad de que las perturbaciones meteorológicas pasen a ser desastres humanos, especialmente en los países menos adelantados. Por ello, la reducción de los riesgos de desastre exigirá una importante transformación tecnológica y social, incluidas la reconstrucción de infraestructuras y una utilización mejor del suelo y de la gestión del agua en las zonas vulnerables, al tiempo que los grupos sociales vulnerables habrán de participar plenamente en los procesos de adopción de decisiones relacionados con la puesta en práctica de sistemas de resistencia de la comunidad frente al cambio climático y los desastres.

Muchas de las tecnologías que requiere una economía ecológica ya están disponibles, como ponen de manifiesto, por ejemplo, la gama de opciones para generar energías renovables (energía eólica, energía solar y biocombustibles, entre otras), las tecnologías para la captura del carbono y la utilización más eficiente de la energía, las técnicas para reemplazar recursos no biodegradables y en materia de agricultura y silvicultura sostenibles (biotecnología, acuicultura, hidroponía y Acuaponía entre otros). Esas opciones constituyen puntos de partida a los que ya se puede recurrir. Las principales cuestiones que se plantean al impulsar el cambio hacia una economía ecológica es cómo seguir perfeccionando esas técnicas, adaptarlas a las necesidades locales y sectoriales concretas, ampliar sus aplicaciones para reducir considerablemente sus costos y establecer incentivos y mecanismos que faciliten su difusión y el intercambio de conocimientos. Esas cuestiones resultan más fáciles de abordar en la teoría que en la práctica.

Dado que muchos de los componentes de los sistemas económicos existentes se encuentran limitados a la utilización de tecnologías no ecológicas y no sostenibles, es considerable lo que está en juego por el elevado costo que puede representar abandonar tales tecnologías. Sin embargo, comunidades de bajos ingresos con tasas relativamente bajas de utilización de electricidad, tal vez puedan “dar el salto” a generar electricidad, por ejemplo sobre la base de formas renovables de energía primaria (un generador eólico podría ser ya que es relativamente sencillo de construir). La cuestión es cómo habilitar a esas comunidades para que tengan acceso a tecnologías ecológicas, las utilicen y, sobre todo, puedan permitírselas.

Asimismo es necesario llevar a cabo innovaciones y ampliaciones para reducir los costos unitarios. Las tecnologías tendrán que ser “transferidas” y resultar accesibles, dado que la mayor parte de las innovaciones tienen lugar en los países desarrollados y las empresas privadas de tales países son las principales propietarias de los derechos de propiedad intelectual en el caso de la mayoría de las tecnologías ecológicas.

### 3.2 Hacia una revolución verde

Una revolución tecnológica a favor de una economía ecológica será fundamental por las siguientes razones (ONU, 2011):

En primer lugar, tendrá que tener lugar durante un período concreto y limitado, ya que debido a las presiones existentes sobre nuestro ecosistema se considera que en los próximos 30 o 40 años debiera alcanzarse el objetivo, lo que entraña una labor enorme, dado que la difusión de las tecnologías es un proceso lento.

En segundo lugar que, los gobiernos tendrán que desempeñar un papel mucho más importante, principalmente a causa del escaso plazo del que se dispone. Es menester acelerar la innovación tecnológica y su difusión, lo cual es improbable que se produzca si se deja que dependan de las fuerzas del mercado, debe recordarse que el entorno natural es un bien público y sin precio fijado por el mercado. Además los gobiernos mediante políticas deben crear los mercados de tecnologías ecológicas que aunque existen son insuficientes. También se deberá seguir promoviendo las investigaciones en tecnologías ecológicas, su desarrollo y su difusión a medida que se generen beneficios para las sociedades en su totalidad. Y dado que actualmente las tecnologías no ecológicas se circunscriben a sistemas económicos completos, el cambio radical a las tecnologías

ecológicas entrañará mejorar, reajustar y reemplazar gran parte de la infraestructura existente y otro capital invertido, estas transformaciones serán costosas y requerirán una financiación en gran escala y a largo plazo que será improbable que se movilice por completo por conducto de la iniciativa privada; por lo tanto también se requerirán apoyos e incentivos de los gobiernos. No sólo serán necesarias firmes políticas tecnológicas, sino que tendrán que ir acompañadas de políticas industriales y educativas activas encaminadas a inducir los cambios necesarios en la infraestructura y en los procesos de producción.

En tercer lugar ya que los problemas ambientales son mundiales, la revolución de la tecnología ecológica tendrá que verse facilitada por una intensa cooperación internacional. Esto ya que los alcances de los problemas son de dimensiones globales en el caso del cambio climático, y que en el caso de la inseguridad alimentaria y de la deforestación los efectos son *no excluibles* por lo que esto termina impactando en la inestabilidad de los precios de los alimentos y los niveles en las emisiones de los gases de efecto invernadero. “Merced al comercio y a las inversiones internacionales, los ingresos y el consumo de un país están vinculados a las huellas ecológicas que existen en el país de producción”. Por lo tanto los acuerdos ambientales multilaterales, las normas sobre el comercio y las inversiones, las facilidades de financiación y los regímenes de derechos de propiedad intelectual habrán de adaptarse para propiciar la transformación a la tecnología ecológica.

El informe concluye con la importancia de abrir las posibilidades de distribuir la tecnología que proveniente de los países desarrollados mediante la “ecologización”, un término que se refiere a las facilidades de estos países a la financiación y otros mecanismos de cooperación internacional (ONU, 2011).

### 3.3 La complejidad del cambio tecnológico

El cambio tecnológico es un proceso acumulativo preñado de incertidumbres en cuanto a su dirección y sus resultados. Sin embargo prevalece la idea generalizada entre la clase científica y las instituciones dedicadas al análisis económico de ensalzar la orientación de esfuerzos, así como lo constata el informe de la ONU que sostiene que (ONU, 2011):

*“Los cambios en las tecnologías predominantes en el mundo darán lugar a importantes transformaciones de la estructura social, de las instituciones del mercado, de las modalidades de convivencia y en los estilos de vida. Inevitablemente, un cambio tecnológico rotundo producirá importantes efectos distributivos entre los países y dentro de ellos. Algunos países y grupos se verán negativamente afectados por la reducción de la demanda de sus productos y recursos. Por otra parte, los países que no se queden atrás en las actividades de investigación y desarrollo y logren establecer nuevos vínculos con el resto de sus economías estarán en mejores condiciones para adaptarse a las nuevas tendencias tecnológicas y mejorar su riqueza y su bienestar.”*

En el informe se reconoce que los mayores avances en cuanto a los recursos y las aplicaciones tecnológicas tendrán que producirse en el mundo en desarrollo cuando la modernización tecnológica entrañe cambios estructurales en la producción, ya que generar actividades dinámicas nuevas resulta un factor clave para el desarrollo sostenible, dado que los procesos productivos han de cambiar para poder respaldar el crecimiento a largo plazo y facilitar el “despegue” al desarrollo, y en ello los gobiernos tendrán que optar por políticas que lo propicien. Eso puede dar lugar a lo que el economista austríaco Joseph Schumpeter denomina como “destrucción creativa”: es decir, crear nuevas actividades económicas para reemplazar otras antiguas y menos productivas. La inversión selectiva, la industria y las políticas tecnológicas serán, pues, esenciales para todos los países que persigan el desarrollo sostenible.

#### 3.4 El cambio tecnológico en beneficio de la seguridad alimentaria sostenible

Las recientes crisis alimentarias han puesto al descubierto problemas estructurales más profundos en el sistema alimentario mundial y la necesidad de incrementar la inversión y fomentar la innovación en la agricultura a fin de acelerar el crecimiento de la producción de alimentos y de esa manera superar el hambre y alimentar a una población mundial en crecimiento. El logro de ese objetivo con las tecnologías agrícolas y los sistemas de producción existentes implicaría aumentar más las emisiones de gases de efecto invernadero, la contaminación del agua, la deforestación y la degradación del suelo, lo que



a su vez impondría nuevas limitaciones medioambientales al propio crecimiento de la producción de alimentos.

La idea conceptual es alcanzar la seguridad alimentaria sin la utilización intensiva del agua de riego, de abonos químicos y plaguicidas mediante la tecnología ecológica, a fin de reducir la utilización de insumos químicos (abonos y plaguicidas) y lograr una utilización más eficiente de la energía, del agua y de los recursos naturales, así como a través de una mejora considerable de las instalaciones de almacenamiento, reciclaje y de la comercialización, para reducir los desechos. Para encauzar la transformación radical hacia una seguridad alimentaria sostenible puede establecerse una amplia lista de tecnologías ecológicas y prácticas sostenibles que ya pueden utilizarse en la agricultura (como las que se han implantado con éxito y han entrañado gran aumento de la productividad en países en desarrollo como el sistema Acuapónico desarrollado por la Universidad de las Islas Vírgenes), incluidas tecnologías y prácticas tales como los cultivos con bajo nivel de labranza, la rotación de cultivos, los cultivos intercalados, el acopio y almacenamiento de agua y su reciclado, los cultivos que entrañen ahorro de agua, la agro silvicultura y la gestión integrada de las plagas. Además, la biotecnología, la ingeniería genética, la irradiación de los alimentos, la hidropónica y la digestión anaeróbica mantienen la promesa de mejorar la resistencia de los cultivos de alimentos a las plagas y a las condiciones meteorológicas extremas, incrementando su valor nutricional y reduciendo la contaminación de los alimentos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El desarrollo de nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento, que constituía el centro de atención de la primera revolución verde de la agricultura, debe proseguir, siempre que se conjugue con una mejora de la gestión del agua y una mejor utilización de los insumos agroquímicos y orgánicos, de manera de reducir sustancialmente sus efectos ecológicos perjudiciales.

#### 4 POLÍTICAS PARA EL DESARROLLO AGRICOLA

Se plantea un doble reto para las políticas. En primer lugar, han de encontrarse métodos eficaces para adaptar las tecnologías agrícolas sostenibles a las condiciones locales y a las necesidades de los pequeños agricultores.

Como segundo reto, han de implementarse procesos innovadores dinámicos a escala local, lo que incluye poner en marcha la infraestructura, los servicios de apoyo y fortalecer diversas formas de asociación y producción conjunta entre productores agrícolas (tales como cooperativas y consolidación de la extensión de cultivo), especialmente en el caso de cultivos que se benefician de mayores escalas de producción. Aprovechar las economías de escala más grandes podría ser apropiado también para acceder a mercados más amplios, para la venta de los productos agrícolas y para facilitar el acceso a los insumos y al crédito. Un aumento de la productividad agrícola mejora los ingresos rurales y libera fuerza de trabajo para el sector industrial.

En el Estudio de la ONU (2011) se sostiene que es necesario contar con un enfoque global de políticas para hacer frente a tales retos, lo que entrañaría establecer un marco nacional general para la utilización sostenible de los recursos y nueva tecnología e innovaciones con capacidad para incrementar la productividad, la rentabilidad, la estabilidad, la resistencia y las posibilidades de mitigación del cambio climático en el caso de los sistemas de producción rural. La conservación del agua, la protección del suelo y la mejora de la diversidad biológica han de formar parte de un enfoque integrado encaminado a la gestión sostenible de la tierra y otros recursos naturales el cual ha de tener presente la cuestión de la compensación y aprovechar las sinergias entre los sectores forestal y agropecuario.

En el contexto de los usos competitivos de la tierra hay numerosas soluciones que plantean difíciles opciones y que únicamente podrán adoptarse mediante una negociación y un debate francos e integradores. Ello no obstante, las sinergias entre sectores (con el resultado, entre otras cosas, de la reducción de la deforestación y del aumento de la productividad de la tierra y de la sostenibilidad del abastecimiento de agua) incluyen opciones en las que no se pierde en ningún caso dote a una mejor coordinación de los recursos, facilitada por un entorno institucional propicio.

#### 4.1 Sistema de innovaciones agrícolas

Entre los esfuerzos institucionales necesarios debe establecerse un sistema de innovaciones agrícolas sostenibles como eje de un enfoque general sobre políticas a fin de alcanzar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad medioambiental. El sistema de innovaciones agrícolas sostenibles, en su calidad de pilar de ordenación de la agricultura y de los recursos naturales dentro de un sistema nacional de innovaciones ecológicas, vincularía a la multiplicidad de agentes que participan en los sistemas nacionales de innovaciones en la agricultura: universidades, instituciones de investigación, empresas, agricultores, organizaciones de la sociedad civil y fundaciones privadas.

La transformación sostenible de la agricultura exige una mayor capacidad nacional de adaptación a los constantes cambios del medio ambiente y del mercado. Un sistema de innovaciones agrícolas sostenibles dinámico constituiría el marco para establecer la coherencia de políticas requerida para acelerar la deseada transformación de la agricultura, incluso mediante el establecimiento de las estrategias que se precisan para facilitar la adaptación de las tecnologías ecológicas y las prácticas de cultivos sostenibles y para mejorar la capacidad de los pequeños agricultores para innovar mediante el aprendizaje y la experimentación y para garantizar un acceso mejor a los insumos y a los mercados de productos merced a la asociación con otros agentes (instituciones de investigación, empresas privadas, organizaciones no gubernamentales y gobiernos locales).

#### 4.2 Reforzamiento de las capacidades de Investigación

La creación de un sistema de innovaciones agrícolas sostenibles que pueda desempeñar un papel rector en la nueva revolución ecológica exigirá que se realicen nuevos esfuerzos para restablecer las capacidades de investigación a nivel mundial y nacional en relación con la ordenación de la agricultura y de los recursos naturales, incluso mediante un aumento de la ayuda financiera a la investigación y al desarrollo agrícolas. Hubo un grupo denominado Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (CGIAR), que perdió gran parte de su capacidad de ejercer el liderazgo en relación con el fomento de las innovaciones tecnológicas cuando la corriente de recursos se volvió inestable y disminuyó.

Los sectores públicos internacionales y nacionales han de desempeñar un importante papel a los efectos de facilitar a los agricultores el libre acceso a la información y a la tecnología, proporcionando para ello incentivos adecuados a los sectores privado y no lucrativo, con objeto de que colaboren en la producción de bienes públicos, y revitalizando y contribuyendo a reorientar el centro de atención de redes como las del CGIAR, como parte de un sistema de innovaciones agrícolas sostenibles y de la cooperación internacional.

La nueva revolución de la agricultura, que es necesaria para mejorar la seguridad alimentaria con miras a poner fin al agotamiento de recursos naturales, puede llevarse a cabo si cuenta con recursos financieros suficientes y con apoyo político, mediante la implantación de la tecnología disponible en la agricultura en pequeña escala.

#### 4.3 Apoyo Internacional

La comunidad internacional ha de contribuir en gran medida a la transformación de la agricultura. Para ello ha de eliminar los obstáculos a la transferencia de tecnología (incluidas las patentes de propiedad privada); cumplir su compromiso de movilizar 20.000 millones de dólares adicionales por concepto de asistencia oficial para el desarrollo (AOD) en favor de la agricultura sostenible, tal como se comprometió en la Cumbre del G-8 celebrada en L'Aquila (Italia) en 2009 <sup>8</sup>; proporcionar a los pequeños agricultores un acceso mayor a los mecanismos de pago de los servicios medioambientales; y, en el caso de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) como México, eliminar las subvenciones a la agricultura.

#### 4.4 Transferencia de tecnología y cooperación internacional

Ya hemos dado muestra de la importancia del factor tecnológico y de las formas en que los gobierno deben intervenir para transferir las tecnologías necesarias en los medios rurales, sin embargo para que esta pueda darse debe implementarse con la ampliación en la cooperación y la financiación para lograr que triunfe la revolución tecnológica; para ello es indispensable la ampliación en tres ámbitos de alcance internacional. En primero lugar, un

---

<sup>8</sup> (23 de abril de 2009). «G8: Italy wants to move Summit to L'Aquila» (en inglés). Consultado el 11 de julio de 2010.

régimen de intercambio internacional de tecnología ecológica que facilite la transferencia de esta para fomentar el desarrollo en países en desarrollo. Esto contendrá instrumentos de propiedad intelectual y de políticas comerciales multilaterales. En segundo lugar, garantizar la financiación del desarrollo y un margen de acción para dinamizar la modernización de las tecnologías de producción en países en desarrollo en beneficio global de la sostenibilidad medioambiental. En tercer lugar, la mejora de la gobernanza y cooperación internacional (ONU, 2011).

#### 4.4.1 La importancia de la difusión y desarrollo

La ampliación de las medidas encaminadas a promover y mejorar las tecnologías relacionadas con la producción ecológica y el consumo en los países en desarrollo ha de ser un objetivo clave de la cooperación internacional. Sin embargo hay pocos precedentes, ya que históricamente han sido configurados y transferido como propiedad privada y por conducto de las empresas privadas

La exitosa experiencia del CGIAR constituye un ejemplo de la rapidez con que puede tener lugar la difusión de las tecnologías agrícolas a escala mundial mediante una red mundial y regional de instituciones de investigación con respaldo del sector público.

En la cuestión del cambio climático, la formulación de políticas públicas de alcance internacional puede basarse en las experiencias de las redes científicas internacionales ya existentes y en el ejemplo de la cooperación entre múltiples interesados que se materializa en la labor del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. El 16º período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que se celebró en Cancún entre el 29 de noviembre y el 10 de diciembre de 2010, se acordó establecer un Comité Ejecutivo de Tecnología, en calidad de órgano de formulación de políticas<sup>9</sup>, para poner en práctica las medidas para cumplir los compromisos en materia de transferencia de tecnología. En este periodo de sesiones se estableció un organismo para facilitar la creación de redes entre los

---

<sup>9</sup> Ibid., decisión 1/CP.16, párr. 117 a).

órganos de tecnología nacional, regional, sectorial e internacional, que se denominaría Centro y Red de Tecnología del Clima<sup>10</sup>.

#### 4.4.2 El asunto del régimen de la propiedad intelectual

La concesión de derechos de propiedad intelectual constituye y debe seguir siendo siempre una medida de las políticas públicas encaminada a estimular sistemáticamente —y no a restringir— la iniciativa privada en el ámbito del desarrollo tecnológico. Actualmente, la concesión de la patente es el incentivo de desarrollo tecnológico más generalizado y lucrativo.

Lo que se necesitaría es el acuerdo entre los países sobre las políticas públicas necesarias para acelerar a invención y la difusión. En la actualidad se recurre a proteger los derechos privados de propiedad intelectual imponiendo el uso y aprovechamiento de tales derechos en exclusividad del propietario. Para esto se deben utilizar incentivos para que el sector privado utilice las subvenciones y las compras de tecnología del sector público a un costo razonable en sus actividades de investigación, restringiendo las prácticas monopolísticas que limitan la difusión y el desarrollo.

Entre las políticas públicas se podría incluir una financiación mundial de las investigaciones que se situaría en el ámbito público a los efectos de una difusión generalizada. Merced a los fondos destinados a la tecnología se podrían establecer redes de innovación internacionales dentro de los diferentes ámbitos de la tecnología. La estrategia global podría incluir recompensas mundiales por la formulación de soluciones técnicas a problemas concretos y la compra de tecnología, a precios apropiados, al sector privado por el sector público, para su desarrollo en el ámbito público (ONU, 2011). En tales condiciones se puede incentivar la participación de actores privados con el acuerdo entre las partes de la aplicación de una tecnología desarrollada a un problema o necesidad de orden público concreto; tal como lo refiere la ONU en su Estudio:

---

<sup>10</sup> *Ibíd.*, párrs. 117 b) y 123.

“El sector privado ha de seguir desempeñando un papel fundamental en el desarrollo tecnológico, particularmente en lo concerniente al desarrollo y a la adaptación de invenciones básicas destinadas a aplicaciones reales”.

En el esquema el nuevo régimen internacional debe permitir un acceso especial y diferenciado a la nueva tecnología sobre la base del nivel de desarrollo del país. Por ejemplo, se podría permitir que los gobiernos y las empresas de los países en desarrollo adaptasen la tecnología, y comenzaran a pagar regalías una vez que hubiesen empezado a generar rendimientos comerciales. También se establece que cuando se necesite alguna tecnología para desarrollar otra y los derechos de uso exclusivo por el sector privado constituyan un obstáculo se debe recurrir a un mecanismo que conceda “licencia obligatoria” para que esa tecnología sea del orden público.

#### 4.4.3 La financiación de las transferencias de tecnología ecológica

Para facilitar la implantación de las nuevas tecnologías ecológicas, las tasas de inversión en los países en desarrollo como México deberán incrementarse de manera considerable. Estos países han señalado sistemáticamente que la financiación insuficiente es el mayor obstáculo con que se enfrentan para la adopción de tecnologías menos contaminantes.

Ilustración 4-1. CAUSAS QUE OBSTACULIZAN LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA A LOS PAISES.



Obstáculos económicos y comerciales a las transferencias de tecnología consignadas en las evaluaciones de las necesidades en materia de tecnología. Fuente: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico, “Recomendaciones sobre las futuras opciones de financiación para mejorar el desarrollo, el despliegue, la difusión y la transferencia de tecnologías en el marco de la Convención: informe del Presidente del Grupo de Expertos en Transferencia de Tecnología” (FCCC/SB/2009/2), gráfico 6

En escenarios consistentes para varios sectores el estudio estima que sería necesaria una inversión ecológica incremental de alrededor del 3% del producto bruto mundial (PBM) (cerca de 1,9 billones de dólares en 2010) para eliminar la pobreza y erradicar el hambre a través de un aumento en la producción de alimentos sin una mayor degradación de la tierra y el agua evitando la catástrofe que representa el cambio climático. Y por el apremio de un plazo reducido la transformación tecnológica y el volumen de inversión ecológica tendrían que darse lo antes posible (ONU, 2011).



Es necesario que los recursos nacionales como el ahorro privado e ingresos públicos sean fundamentales para el financiamiento a mediano plazo. Esto porque en países como el nuestro no existen mercados suficientes para la financiación a largo plazo y puede presentarse una debilidad estructural fiscal, lo que limita el alcance de financiación interna para inversiones de largo plazo en fechas cercanas. Además, otro obstáculo en países como el nuestro son las condiciones en el sistema financiero y de pagos a nivel internacional, que mantienen un porcentaje importante el ahorro interno como reservas internacionales, que son en buena medida activos financieros de los países desarrollados por compromisos adquiridos.

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial y los fondos fiduciarios destinados al cambio climático administrados por el Banco Mundial lograron desembolsar no más de 20.000 millones de dólares anuales en los últimos años. Por consiguiente, la mayor parte de la financiación para transferencia de tecnología depende actualmente de las corrientes de inversión extranjera directa (IED), de las donaciones y los préstamos de la asistencia externa y de los fondos de los organismos de crédito a la exportación.

El compromiso consignado en el Acuerdo de Copenhague de movilizar 30.000 millones de dólares para el período 2010-2012 y 100.000 millones de dólares anuales para el año 2020 en transferencias a países en desarrollo constituye un paso más en la dirección adecuada, si bien ese compromiso aún tiene que ponerse en práctica.

Este Estudio estima que los países en desarrollo van a requerir un poco más de un billón de dólares al año en inversiones ecológicas incrementales. Si bien una gran proporción de esta inversión incremental sería financiada con recursos públicos y privados de los mismos países en desarrollo, particularmente en los primeros años el financiamiento internacional va a ser indispensable para dar un primer arranque a la inversión ecológica y para financiar la adopción de tecnologías del exterior (ONU, 2011).

Sin embargo los compromisos de Copenhague no parecen satisfacer la necesidad de escalar el esfuerzo mundial hacia una economía ecológica y que el aumento probablemente llegaría demasiado tarde, dado el escaso plazo disponible.

## METODOLOGIA

Este trabajo de investigación está basado en fuentes secundarias principalmente, diferentes fuentes bibliográficas como libros y artículos de revistas científicas de asociaciones e instituciones reconocidas que plasman resultados concluyentes sobre el comportamiento de los esquemas de producción escogidos. Si bien, este trabajo no desarrolla el proyecto propuesto, sí sienta las bases teóricas y metodológicas sobre la técnica Acuaponia, el esquema de producción integral adaptado a la localidad, el diseño ingenieril y el análisis económico y de riesgo que permite analizar el comportamiento esperado del sistema a lo largo del tiempo si las variables socioeconómicas permanecen sin cambio. Las conclusiones sobre los resultados obtenidos del proyecto en su conjunto serán analizados en dicho apartado considerando en términos cuantitativos los análisis económicos y de riesgo así como los cualitativos en la parte del diseño ingenieril que permita como primer objetivo la funcionalidad biológica del sistema.

Para implementar el proyecto Acuapónico propuesto en este trabajo debemos de considerar muchos aspectos técnicos (biológicos, ingenieriles y económicos), con el propósito de conocer la viabilidad del proyecto principalmente, sin embargo debe considerarse de igual manera un orden o metodología para que dicha ejecución pueda llevarse a cabo sin grandes contratiempos; para ello se propone *El modelo Chapingo de transferencia de tecnología*. Aunque el proyecto es propuesto en virtud de coadyuvar con el campo Quintanarroense este podría implementarse en prácticamente cualquier localidad del país.

### 5 EL MODELO CHAPINGO DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

El modelo Chapingo de transferencia de tecnología escogido para este trabajo, es una propuesta original, que insiste mucho en la capacidad del personal encargado de conducir los procesos de transferencia tecnológica en el medio rural mexicano. Este modelo se probó parcialmente entre 1995 y 1997 en los estados de Oaxaca, san Luis potosí y Estado de México, bajo el auspicio de la subsecretaría de desarrollo rural de la entonces SAGAR, el

INCA Rural, el Instituto investigación y capacitación agropecuaria, forestal y acuícola del Estado de México (ICAMEX) y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 11

La visión general del modelo establece un papel rector por parte del Estado en el proceso de transferencia de tecnología, pues es quien establece las directrices de hacia dónde debe dirigirse la agricultura del país a través de las políticas sectoriales. En general la asistencia técnica en México proporcionada por el Estado ha sido de baja calidad y los productores no se acostumbran a pagarla. Los principales generadores de tecnología son dependientes del Estado quien rige y norma sus funciones; también mediante su intervención se dirige el financiamiento bancario e institucional en el sector determinando su viabilidad. Dentro de este marco se atiende a la propuesta de descentralización institucional y a la participación del sector privado, y destaca la importancia de insistir en que los productores participen con sus afinidades e iniciativa propia (Sepúlveda G. , 2006).

### 5.1 Propósito del modelo Chapingo

El modelo está dirigido a promover la formación y capacitación de equipos interdisciplinarios de profesionales dedicados a la transferencia de tecnología agropecuaria, porque sólo un equipo bien preparado puede atender integralmente a los productores de una región. Estos pueden determinarse como *bufetes o despachos privados* y equipos institucionales quienes se encargaran de:

1. Capacitar al personal profesional que trabaje en el campo con una estrategia que coadyuve a la transformación de productores rurales tradicionales, en empresarios con mayor capacidad de tomar decisiones, para que utilicen más eficientemente sus recursos con la finalidad de maximizar sus ingresos.
2. Apoyar a un proceso que propicie la diversificación y el incremento de la producción y la productividad en el campo.
3. Contribuir a la creación de empleos para profesionales de la agronomía, la veterinaria y otras afines que se requieren en el campo.

---

11 La primera formulación de este modelo fue desarrollo por Sepúlveda (1992) en 1995 en el curso Transferencia de tecnología II. De la maestría de Sociología Rural.

## 5.2 Objetivo general del modelo

El objetivo se centra en aplicar y validar un nuevo modelo de transferencia tecnológica a través de un programa de capacitación dirigido a ingenieros agrónomos, médicos veterinarios, sociólogos, economistas agrícolas y otros profesionistas que trabajen institucional o privadamente al servicio de pequeños y medianos productores agropecuarios, con potencial productivo.

## 5.3 Precisión de la población objetivo

El modelo está dirigido a prestadores de servicios profesionales que trabajen con:

- Productores rurales con recursos, pero cuya actividad no es un negocio rentable en la actualidad.
- Personas con acceso a la tierra sin importar régimen de tenencia.
- Detentadores de predios con una superficie mínima que obedezca a lo necesario de acuerdo al proyecto presentado.
- Grupos que decidan trabajar bajo un esquema de organización, superficies cuya media per cápita sea inferior a las 5 hectáreas.

## 5.4 El diagnóstico

Para poder elaborar un diagnóstico confiable es necesario hacer cierto trabajo de campo que provea información importante de la localidad y sus habitantes, así como de sus tradiciones y modos productivos; esto con el propósito de cubrir los objetivos fundamentales necesarios para armar el plan de transición tecnológica más puntual. La sugerencia primordial es la de involucrar directamente a los productores en la realización del diagnóstico, esto sobre todo cuando el trabajo se realiza de manera institucional. Cuando el bufete o despacho es privado, la responsabilidad recae en los propios técnicos, pero siempre debe buscarse contrastar los datos y las percepciones obtenidas con productores de la región.

Los objetivos y propósitos fundamentales de este diagnóstico son:

- Conocer los recursos de la región, su uso actual y sus potencialidades, para poder buscar usos alternativos a los mismos, que puedan resultar en más ingreso para el productor.
- Conocer los niveles tecnológicos actuales, compararlos con otras opciones tecnológicas y seleccionar alternativas que proponerle al productor cliente.
- Analizar la estructura y volúmenes de la producción actual, los costos de producción aproximados por actividad, la infraestructura del predio, los canales de comercialización, las formas de presentación del producto y el precio final, para saber cuánto gana y cuánto gasta actualmente el productor.
- Darse a conocer por los productores como un buen equipo de prestadores de servicios profesionales de tecnología que puede apoyararlos.

El diagnóstico debe ser presentado a los productores y discutido y afinado con sus opiniones y precisiones. Debe mantenerse permanentemente actualizado, pues las situaciones de los agricultores, de las políticas del país, del estado de los recursos del desarrollo tecnológico y de los mercados, cambian constantemente y estos cambios influyen en todos los elementos del modelo.

### 5.5 Productos recomendables en las actividades de transferencia.

Según este modelo el equipo de prestadores de servicios profesionales tiene una gran responsabilidad, sobre todo con los productores más pequeños, a la hora de recomendar un producto, principalmente si este es nuevo para el productor. El técnico debe ofrecer al productor una serie de opciones que le puedan maximizar su ingreso, explicar al productor las ventajas y desventajas de cada una de ellas y dejarlo tomar la decisión.

Una buena sugerencia sería recomendar solo aquellos productos que tienen una demanda efectiva en el mercado y cuyos precios sean atractivos en función de los costos de producción.

La aseveración anterior implica:

- Elevar sustancialmente la productividad.

- Disminuir los costos de producción. O bien,
- Cambiar el cultivo o actividad.

En el modelo se determina que los productos que se ofrezcan como opciones regionales a la decisión de los productores deben ser aquellos que:

1. *Le incrementen sustancialmente los ingresos al productor, considerando la superficie que posee.* Hay posibilidad de que un complejo Acuapónico pueda ser considerado dentro de un área de descanso reciente para que no interfiera en su producción ordinaria. <sup>12</sup>
2. *Sean susceptibles técnicamente de obtenerse en la región.*
3. *Exista investigación regional que permita rendimientos aceptables.*
4. *Que tengan mercado maduro y accesible en expansión.* Si bien cuando se lanza al mercado un producto nuevo no hay competencia, pero abrir mercado puede tener un costo alto. Tal como los productos *orgánicos* diversos que ofrece el sistema, pueden ser de alto valor de mercado pero tal vez no sean tan accesibles.
5. *Cuya complejidad, tiempo que el productor deba dedicarle, requisitos de insumos y el costo de la tecnología sean accesibles y convenientes para el productor.* El RAS es muy simple y contribuye enormemente a la reducción de costos.
6. *Existan fuentes financieras para apoyar la producción.* Se podría analizar con la SAGARPA el proyecto dentro de sus programas en Quintana Roo que defina los fideicomitentes y la gestión de los recursos.
7. *Tengan interés para el país (consumo, divisas, balanza sectorial, protección de los recursos naturales, belleza escénica).*
8. *Se puedan producir en cantidades negociables en el mercado,* ya que según Sepúlveda (2006), si la cantidad producida es muy pequeña no es posible negociar precios y a veces ni siquiera colocarlos; y si es muy abundante, puede provocarse competencia regional que abata precios. El sistema tiene dimensiones de producción a mediana escala y la versatilidad de su técnica puede constituir la punta de lanza para producir las cantidades adecuadas.

---

<sup>12</sup> Entre los agricultores mayas estas tierras en descanso son llamadas “humiles”.

Aunque el modelo se plantea esencialmente para equipos privados, los puntos 3, 6, 7 y 8 no pueden manejarse simplemente por oferta y demanda individual. El estado debe intervenir (política de estructura productiva, regulada regionalmente) a través de la SENASICA en coordinación con las Secretarías estatales de Desarrollo Agropecuario, inclusive BANCOMEXT en caso de buscar mercados exteriores que demandan los mencionados productos “Premium”.

### 5.6 Conocimiento de los mercados

Definitivamente para que cualquier actividad comercial tenga éxito, es fundamental el conocimiento de los mercados. En el caso de agrícola es más importante aún, pues se trabaja con productos perecederos.

Aunque se produzca para los mercados internos, que serían los espacios lógicos para productores pequeños y medianos, con la globalización económica y la internacionalización de los mercados, los productores tienen que conocer las características de los mercados actuales. En esto, la labor educativa de los equipos técnicos es fundamental. Entre más amplio sea el abanico de posibilidades de colocación de los productos mayores serán las utilidades. Plataformas de información de mercados como las de BANCOMEXT y ASERCA, que manejan información actualizada sobre posibles compradores tanto regionales como internacionales.

Sepúlveda establece una serie de recomendaciones para el adecuado manejo comercial de los productos:

Recomienda como primer punto que antes de producir algo se tuviera segura la venta del producto a través de un contrato de compra-venta a futuro; trabajar productos en expansión o maduros, ya que aunque no se tenga competencia abrir un mercado representa costos de promoción. Los productos denominados orgánicos, actualmente están considerados como productos en expansión sobretodo en mercados de países desarrollados donde la tendencia ideológica es la de optar por productos con calidad sanitaria “Premium” aunque esto represente productos razonablemente más caros; en México BANCOMEXT apoya con la

organización de ferias y exposiciones que pueden ser muy útiles para lograr la colocación de la producción en mercados extranjeros.

También destaca que los mercados saturados son peligrosos ya que esto puede incidir fácilmente en el exceso de oferta o disminución de la demanda, impactando en el precio.

Que los mercados maduros presentan mucha competencia donde aunque la demanda puede no correr riesgos inmediatos de ser sustituidos por otros, hay que contar con alguna ventaja, como menores costos, mayor calidad o excelente publicidad.

El equipo de prestadores de servicios profesionales debe estar muy pendiente de las actualizaciones tecnológicas, pues dada la internalización de los mercados la eficiencia productiva de algún competidor puede representar severos problemas de competitividad.

Los prestadores de servicios deben conocer ampliamente las normas requeridas en los productos, así como las vías de comercialización. La utilización de un catálogo basado en el sistema armonizado de identificación, junto con los requerimientos no arancelarios para cada producto, así como acceder a directorios comerciales que presenten información sobre los prestadores de servicios para el comercio exterior son recursos que fortalecen la toma de decisiones.

Sepúlveda hace hincapié en que el despacho debe conocer las características de los mercados objetivo ya que pueden existir mafias o acaparadores que controlen la introducción de productos y saber cómo poder darles la vuelta, negociando, alcanzando otros mercados, o no promover esos productos.

Se resalta la importancia de la presentación del producto al mayorista ya que la tendencia en los mercados desarrollados es que a través de la denominación de origen, certificación orgánica o de etiquetas individuales se pueda representar una seguridad de calidad al consumidor.

El volumen del producto tiene suma importancia a la hora de negociar ventas y precios. Así que, hay que estimar rendimiento y volúmenes totales regionales antes de recomendar un cultivo o actividades a clientes individuales.



Finalmente todas estas recomendaciones son válidas para los mercados locales, regionales, regionales o internacionales. El asunto es que el productor tenga una “mercado-meta” o nicho de mercado. En este contexto se insiste en la asistencia de la SAGARPA que pueda tener un cierto control sobre los productos y las superficies para que se puedan establecer los límites recomendables de un cultivo, y el cuidado ecológico de la región.

### 5.7 Sistema de cobro

Se ha demostrado en otros países que los sistemas de cofinanciamiento entre los productores y el Estado resultan más convenientes en términos de adopción y aprecio de las recomendaciones en transferencia tecnológica, donde toda la asesoría es gratuita (Berdegué, 1997).

En la realidad es muy difícil esperar que los agricultores paguen por su asistencia técnica, por lo que debe diseñarse una forma de cobro donde el productor pague un parte y el Estado absorba el resto. Sin embargo, para que el agricultor acceda a esta modalidad hay que convencerlo de que los servicios son de calidad y merecen ser pagados.

En este modelo se propone que el bufete cobre a productor un porcentaje del monto de su trabajo, pero después de la venta de sus productos que contribuyo a obtener. De esta manera el productor ya habrá apreciado la utilidad de la asesoría.

Una propuesta de este modelo es que si el Estado (federal y/o estatal) acepta esta modalidad de cofinanciamiento, llegara a un acuerdo con CIMO<sup>13</sup>, de manera que este organismo pueda pagar una parte de la asesoría durante el proceso (hasta 70%), y los productores la otra parte al final del ciclo. Desde luego también pueden valorarse otras instituciones financieras como FIRA o los bancos, o en el caso de programas de impulso a los agricultores y de conservación inscritos por la SAGARPA o SEMARNAT como lo es el caso del PROCAMPO.

La cantidad total del costo de los servicios del despacho será un porcentaje (20 a 40%) del ingreso marginal o monto adicional que el productor ganó debido a las recomendaciones

---

<sup>13</sup> Calidad Integral y Modernización. Organismo de la STPS que opera a fondo perdido. En cada estado de la republica hay un representante de CIMO, ubicado generalmente en las instalaciones de CONACINTRA u otro organismo empresarial.

del bufete. Para el cobro diferido, deberá celebrarse un contrato entre el productor y el prestador de servicios. El contrato deberá oficializarse y tener efectos jurídicos.

Esta modalidad obliga al bufete a darle seguimiento al cultivo y a las actividades del productor hasta la venta de su producto. Así, si el productor gana, gana el bufete; si el producto pierde, el bufete pierde parte importante (20 a 40%) del pago por su trabajo. Por lo tanto, se trata en los hechos de realmente asociar al equipo técnico con los productores.

Además de convencer al productor de que la asesoría tiene valor, este sistema de cobro aleja a los prestadores de servicios profesionales de los vicios burocráticos, donde, independientemente de su labor y resultados, el técnico gana lo mismo. Así como sostiene Sepúlveda (2006) cuando reflexiona el supuesto de que pensar que el técnico solo trabaja por vocación y que no pondrá más intereses si tuviera la opción de ganar más, se derrumba al consultar al respecto a los extensionistas que trabajan para el Gobierno.

#### 5.8 Promoción de los servicios del despacho

El bufete o despacho debe promocionarse como cualquier otra empresa que compite por una porción del mercado. Los técnicos tienen que ser activos e ir a buscar a los clientes potenciales, pues hay que asumir que estos aún no constituyen una demanda actual en el sentido de percibir la necesidad del servicio, por lo que hay que abordarlos con propuestas atractivas.

De acuerdo al modelo es necesario precisar una parte o nicho de mercado a la cual debe dedicarse la promoción. Este será delimitado por superficie y/o por tipo de actividad (sistema-producto) que se decida privilegiar en la asesoría. Este nicho debe delimitarse por supuesto en función de la capacidad de atención del despacho, tomando en cuenta la cantidad de productores y su capacidad económica.

En la promoción pueden utilizarse los siguientes elementos:

- Un sistema de cobro proporcional a la utilidad extra que le haya hecho ganar al productor. Esto es muy adecuado porque ofrece un seguro real para el cliente.
- Conocimiento técnico de primera mano.

- Conocimiento y manejo de los mercados.
- Cobro parcial diferido para después de la venta del producto.

Hay que entender que éxito inicial prestigia al bufete y la recomendación de clientes satisfechos es la mejor promoción. Esta visión empresarial es muy útil y aplicada en el mundo de los negocios, sobre todo en los de servicios.

### 5.9 Conformación del equipo técnico y financiamiento inicial del bufete

Es preciso que quien tome la iniciativa de construir una empresa de prestadores de servicios profesionales agropecuarios, deba buscar la figura legal más conveniente a sus intereses o, en su caso, aquella que eventualmente pudiera proponer el Estado. Las más adecuadas pueden ser la sociedad civil o la cooperativa.

Los miembros del equipo deben tener, en conjunto, un perfil técnico y económico que pueda subvenir las necesidades del productor-objetivo de la región que se elija como nicho de mercado. Así si se trata de una región agricultora será imprescindible quizás uno o más ingenieros agrónomos, un economista, un comunicólogo, un comercializador internacional y un técnico general. Esto quiere decir que para la conformación del equipo no hay que buscar sólo afinidades personales, sino sobre todo, complementación profesional.

Asumiendo que con las condiciones actuales de los sueldos profesionales en México, difícilmente un grupo de profesionistas podrá financiarse sólo, por lo que se necesitaría un financiamiento inicial blando, por una sola vez.

El esquema que propone el modelo es de:

- ✓ 40% Federación (a través de FIRA u otro).
- ✓ 40% Gobierno estatal y municipal.
- ✓ 10% Algún programa sectorial de fomento y conservación.

El financiamiento debe considerar salarios, vehículos y su operación, por un ciclo productivo del producto más importante que se desea obtener en la región. Los aparatos y medios de comunicación como computadoras y teléfonos, incluyendo transporte son

fundamentales, ya que según el modelo los asesores deben ser localizables rápidamente para casos de emergencia. Es muy importante el enlace a internet para tener accesos a redes de información de mercados como ASERCA y BANCOMEXT, u otros privados.

En la solicitud del financiamiento, el bufete hará un plan de negocios que incluya la fecha aproximada del punto de equilibrio, donde comenzaría a amortizarse el crédito.

#### 5.10 Capacitación de los transferencistas de tecnología

El modelo plantea que los miembros del despacho deban ser sometidos a una capacitación específica que los habilite para trabajar ventajosamente en una región determinada.

Entonces, parte del modelo es un programa de capacitación que considera:

- Un curso general sobre transferencia de tecnología, enfatizando en el Modelo Chapingo y en las condiciones actuales del país.
- Cursos específicos teórico prácticos de capacitación técnica, así como cursos económicos y sociales, adecuados regionalmente.

El sentido de esta capacitación es que todos los miembros del equipo compartan una visión y conocimientos básicos en transferencia tecnológica y, además, cada uno de sus miembros tenga capacitación específica en uno de los campos que son necesarios en su región de manera que, en conjunto, puedan satisfacer las necesidades del área.

Una exigencia para el bufete será la certificación de que sus miembros están preparados y capacitados para otorgar:

- a) Asistencia técnica de alta calidad en los sistemas productos agropecuarios o agroindustriales característicos y/o necesarios en la región. Conocimientos de los últimos avances tecnológicos en la materia.
- b) Asesoría financiera y de mercados, según las actividades actuales y futuras proyectadas para la región.

Lo anterior requiere de cursos y programas de entrenamiento específicos, que pueden solicitar a instituciones reconocidas como, para este enfoque, a la Universidad Autónoma Chapingo, la ECOSUR y la UQROO.

Los prestadores de servicios profesionales ya capacitados deberán mantener contacto permanente con INIFAP y otros centros y universidades regionales e internacionales. Para el caso específico de la técnica de Acuaponía deben monitorearse constantemente los avances y resultados en investigaciones y datos que se puedan generar en instituciones con experiencia acumulada en la materia como la Universidad de Calgary y Universidad de las Islas Vírgenes, así como asociaciones como la como la ATTRA principalmente.

## 6 PRINCIPALES ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN

Una de las utilidades de este trabajo es presentar precisamente el diseño de un sistema agroforestal que contenga la base ingenieril y técnica seguida de la estrategia para transferencia tecnológica tomando en cuenta las necesidades y forma de vida de los productores de la zona maya. La manera de diseñar el sistema debe tomar en cuenta que existen muchas posibilidades en cuanto al esparcimiento de árboles y cultivos, combinando una infinidad de posibles regímenes de manejo a través del tiempo y en el espacio. ¿Cuál debe ser el proceso entonces para especificar un diseño agroforestal viable y atractivo en una situación dada?, ¿Qué características contribuirán a la viabilidad de un sistema agroforestal?

El presente trabajo se basó en la premisa de una alternativa o innovación agroforestal seria, factible y adoptable por una población media que:

1. Responda a las necesidades, objetivos y preferencias de la población local.
2. Se tomen como punto de partida los sistemas productivos actuales ya que representan estrategias adoptadas para la sobrevivencia local.
3. Sea congruente con los recursos disponibles para la población (tierra, mano de obra, conocimiento y capital).
4. Sea lo suficientemente flexible para adaptarla las condiciones medioambientales y socioeconómicas de cada familia.
5. Y como último pero no menos importante, que presente un alta probabilidad de mejorar la distribución de riesgo y del ingreso familiar.

Estas premisas constituyen la estrategia de investigación que Snook (2004) realizó considera en su estudio “En busca de sistemas Agroforestales viables; resultados y experiencias en Calakmul y la Zona Maya” (1993-1995). Investigación que fue realizada en tres zonas del sureste de la Península de Yucatán, poblados por grupos con grandes diferencias étnicas y culturales, lo cual se ve reflejado en diferencias marcadas por las formas de manejo de los recursos naturales, expectativas económicas y de vida en general. Los ejidos analizados son los de Calakmul y Río Hondo que han sido formados por productores inmigrantes provenientes de los estados de Campeche, Yucatán, Tabasco,

Veracruz, Michoacán y Chiapas entre otros, mientras que los ejidos de la Zona Maya están constituidos por la población autóctona maya.

Las experiencias y circunstancias encontradas en el trabajo de Snook, así como los sistemas agroforestales propuestos constituyen valiosos elementos de referencia que denotan la realidad contextual de un supuesto orientado al implante de un sistema agroforestal como el de la granja Acuapónica.

### 6.1 Población, sistemas productivos y estrategias de sobrevivencia

En los municipios de Calakmul y Felipe Carrillo Puerto la población vive de la apropiación directa de los recursos naturales y depende de un conjunto de actividades esenciales en sus milpas para la producción principal de maíz, frijol y calabaza, con algunos otros cultivos entremezclados;

El cuidado del solar (un área de producción intensiva cercana a la casa en la cual se producen pavos, gallinas, huevos, cerdos, cabras, conejos, legumbres, especias, frutas y plantas medicinales);

El aprovechamiento del bosque y de las áreas de descanso (huamiles) para la extracción de madera, látex de chicle, materiales de construcción tales como postes, vigas, tablas y hojas de palma o guano, así como medicinas, carne de monte, frutas silvestres y miel.

En la región también existen personas que poseen sistemas de producción semi-tecnificados, como: ganadería, apicultura, agricultura mecanizada para maíz, frijol y los cultivos de chile Jalapeño, chile habanero, tomate y sandía.

El conjunto de actividades varía entre las personas y épocas del año, adaptando cultivos y actividades extractivas en general de acuerdo a las necesidades familiares, costos y oportunidades financieras, acoplados a la disponibilidad de asesoría y oportunidades de venta. Estos acoplamientos descritos por Snook (2004) reflejan la familiaridad que los productores tienen con los posibles procesos de transferencia e innovación.

El trio de medios productivos milpa/solar/bosque se han constituido como los medios productivos, cuyas raíces son precoloniales, manteniéndose fielmente hasta la actualidad.

Esta persistencia es testimonio de la adaptación de los recursos ecológicos locales cuyas precipitaciones pluviales son variables en periodicidad y cantidad, los suelos son someros y rocosos, la incidencia de huracanes y es recurrente así como sequias e inundaciones periódicas (Faust & Bilsborrow, 2000).

En el contexto local caracterizado por su alto riesgo productivo, los productos del bosque y solar terminan siendo como una póliza de garantía contra ciclos con siniestros a los cultivos de la milpa, ya que las familias pueden recurrir a productos forestales, resistentes a sequias e inundaciones y a los productos de solares, los cuales por sus cercanía con la casa gozan de un mejor cuidado y son protegidos de impactos climatológicos y de incendios.

Resultado de las encuestas realizadas en el estudio de Snook, se sabe que en los ejidos con dotaciones de tierra fija en promedio una familia típica de Calakmul por ejemplo dispone de una dotación de tierra que va de las 25 a 50 hectáreas, mientras que en los ejidos con un sistema de uso comunitario, mayormente habitado por comunidades mayas, cada familia puede usar el área necesaria para la agricultura siempre y cuando se respeten las normas de la comunidad. En ambas zonas cada familia cuenta con un solar, generalmente de 0.25-0.5 ha., una serie de milpas, comprendiendo un conjunto de áreas cultivadas de 4 ha. promedio, y un área en descanso (huamil) de 11 ha promedio y un área de bosque de 22 ha promedio (Snook A. , 1996). Adicional al bosque dentro de las parcelas individuales, muchos ejidos cuentan con miles de hectáreas donde no se permite el uso agrícola.

Con acceso a parcelas tan grandes para uso familiar las limitaciones productivas son la mano de obra y el capital, no la escasez de tierra. Como la milpa es el medio productivo principal, ocupa prioridad en la toma de decisiones en cuanto a la inversión en la mano de obra familiar y solamente se invierte mano de obra en otras actividades si no interfiere con la producción de este medio (ICRAF, 1994). Como rara vez se pueden pagar jornales, la mano de obra disponible en una familia normal alcanza para cultivar de 3 a 4 ha de milpa con un hectárea de producción intensiva como por ejemplo un huerto (ICRAF, 1994). El sistema común no genera los recursos necesarios para invertir en mecanización, sistemas de riego, productos agroquímicos, semillas mejoradas u otros insumos externos (ICRAF, 1994). Hay algunas excepciones en el caso de los productores de chile jalapeño sobretodo



que se arriesgan cada año con la esperanza de conseguir ingresos considerables (Snook L. K., 1999).

En resumen, los productores aseguran sus bienes con una estrategia de diversificación de sistemas productivos, los cuales a su vez consisten de diversos componentes acoplados a una dispersión espacial de los medios productivos en su parcela y área de aprovechamiento.

## 6.2 Limitantes para producir

Por las fuertes limitaciones para poder capitalizar su producción, los productores dependen de proyectos gubernamentales y no gubernamentales, salvo en años particularmente productivos, durante los cuales obtienen medios de financiamiento que les permiten invertir de vez en cuando en insumos como jornales y agroquímicos para sus sistemas de producción (Snook L. K., 1999). Algunos proyectos obtienen información y asesoría que les permite experimentar nuevas alternativas productivas. Solamente 10% de los productores han usado algún insumo agrícola como agroquímicos en su milpa (ICRAF, 1994).

Dentro de las limitaciones más fuertes entre los productores identificaron para su producción agrícola la incertidumbre en la ocurrencia de lluvias, y aun logrando una buena cosecha, las dificultades en el mercadeo de los productos. La problemática comercial de sus productos es, en consecuencia, resultado de una serie de factores:

- No existe una integración comercial en los ejidos.
- Distancias al mercado
- Falta de acceso vehicular a sus parcelas
- No tiene experiencia en adecuar sus siembras a las exigencias del mercado
- Falta de conocimiento y experiencia comercial
- Y ausencia de agroindustrias preparadas para comparar los productos a buenos precios.

En cuanto a la producción forestal maderable, en la mayoría de los ejidos se opina que esta ya no es una actividad económicamente rentable, dada la escasez de las dos especies con

más salida comercial (caoba y cedro) y la falta de éxito en los esquemas de reforestación de caoba bajo monte. Los miembros de las comunidades han con actividades forestales han cumplido durante años con la ley forestal en lo concerniente a la reforestación y sembrando plántulas en brechas bajo dosel, aunque consideran que los esfuerzos han sido poco satisfactorios dado los escasos niveles de sobrevivencia y mínimo crecimiento de las caobas y los cedros. En algunas de las entrevistas a productores Snook establece que hay años en los que las personas no logran cubrir ni sus necesidades básicas y que sus ingresos, en general, dejan mucho que desear.

### 6.3 Interés en cultivar árboles

Tanto en la zona maya como en Calakmul, las personas entrevistadas manifestaron su interés por adoptar sistemas agroforestales (ICRAF, 1994; Casey, Mercer, & Snook, 1999) con una selección variada de especies, de las cuales cedro y caoba fueron vistos como los más importantes de las especies maderables, mientras que los cítricos fueron preferidos como especies frutales también goza de popularidad. En cada zona los productores aspiran a tener una mayor diversidad de especies y sembrar árboles en cada una de las áreas bajo su control (ICRAF, 1994; Avila, 1995).

#### 6.3.1 Especies maderables

En la zona maya optaron por sembrar árboles maderables en asociación con cultivos dentro de sus milpas, con la reserva forestal como una segunda opción (ICRAF, 1994; Avila, 1995) En Calakmul la mayoría prefiere sembrar árboles maderables en algún lugar dentro de su parcela, mientras que otros especificaron que prefieren sembrarlos en la milpa con sus cultivos.

#### 6.3.2 Especies frutales

En la zona maya, 51% de las personas entrevistadas dijeron que tenían interés en sembrar árboles frutales en su solar, 56% en la milpa en asociación con los cultivos, aunque también manifestaron interés por sembrar árboles frutales en la parcela (sin especificar en cual

sistema) en el apiario y en el huamil. A 5% de los entrevistados en la Zona Maya les gusta distribuir los árboles sobre cada una de sus áreas productivas. En Calakmul 64% de los entrevistados respondieron que sembrarían los árboles frutales en el solar; 56% respondieron que consideran que se puede sembrar en la milpa en asociación con los cultivos y 6% en el huamil. A 85% le gustaría también sembrar los árboles frutales en la parcela, sin indicar específicamente en cual contexto dentro de la parcela (ICRAF, 1994; Avila, 1995).

#### 6.4 Diseño de sistemas agroforestales

En un trabajo de diseño participativo de un sistema agroforestal de árboles asociados con cultivos y/o animales Snook (1999), encontró información adicional en cuanto a las preferencias de los productores sobre donde sembrar árboles, cuales especies sembrar y como cuidarlos.

En Calakmul, la preferencia fue establecer un sistema agroforestal en ella. La pretensión es sembrar una mezcla de árboles maderables y frutales mientras que se aprovecha el campo para cultivos y/o abonos verdes. La preferencia general es la de ubicar la parcela agroforestal cerca de la casa y el camino, para poder atender las plantas y facilitar la cosecha de frutas. También preferían usar un área fértil en su primer año de cultivo y no una al punto de descanso. Otra propuesta interesante se basaba en establecer dos tipos de sistemas contrastantes, uno con árboles frutales cerca de la casa y otro con árboles nativos maderables dentro de su milpa. En la milpa pretendía sembrar, según un sistema Taungya, los árboles en el primer año de siembra, atendiéndolos junto con los cultivos y dejar regenerar el bosque alrededor de ellos durante la etapa de descanso de su milpa, para así crear un huamil enriquecido. Se había observado que los árboles nativos se adaptan perfectamente a la dinámica cíclica de roza-tumba-quema, siembra y descanso de la milpa tradicional. La caoba y el cedro, siendo heliófilas, se establecen con facilidad y se desarrollan bien bajo las condiciones de alta luminosidad prevalecientes durante los primeros años de una milpa. Una vez establecidos, la caoba y el cedro logran competir exitosamente con la regeneración natural del huamil, el cual se regenera posteriormente de dos años después de dejar la milpa en descanso.

En la Zona Maya generalmente los productores ya cuentan con solares bien desarrollados y por tanto sí se les ha encontrado interesados en adoptar sistemas nuevos en sus milpas o potreros.

#### 6.4.1 Tres sistemas agroforestales contrastantes

Los sistemas encontrados más interesantes son los siguientes:

Los solares y parcelas diversificadas en comunidades de Río Hondo y la Zona Maya; en este primer grupo los productores desarrollaron sistemas basados en decisiones personales sin restricción alguna.

Las parcelas agroforestales de Proyecto Agroforestal CRASX; en este segundo caso el sistema agroforestal introducido fue un diseño de hileras de frutales alternados con líneas de caoba y/o cedro en asociación con cultivos, manteniendo una distancia entre hileras seis metros y entre árboles de la misma hilera de cuatro metros, resultando en 225 árboles forestales y 110 árboles frutales por hectárea (Sosa, 1998; Zapata, 1996); con este esquema cada participante asumió el poder decisivo sobre los cultivos asociados y el manejo de la parcela en cuanto insumos, deshierbe, etc.

Las parcelas de árboles nativos del Proyecto de Reforestación del CRASX; en este tercer caso, se ofreció una mezcla de 21 especies (mayormente maderables) a los productores, dejando a su criterio la selección de especies, número de árboles, densidad de siembra y lugar dentro de su parcela individual (milpa, huamil).

#### 6.4.2 Resultados en sistemas agroforestales

Para determinar si la utilización de sistemas agroforestales ofrece una técnica promisoría para el establecimiento de árboles dentro del contexto local, habría que tomar en cuenta las evaluaciones realizadas en el desarrollo de árboles sembrados por los agricultores en las comunidades de Calakmul. En la Zona Maya no se hicieron evaluaciones profundas debido a lo novedoso del sistema y por lo tanto la reducida experiencia. Dos consistían en mediciones y evaluaciones en el campo, con entrevistas de los productores (Sosa, 1998;

Smid, 1999), mientras que la tercera fue una evaluación basada exclusivamente en entrevistas (Zapata, 1996).

Las diferentes especies sembradas tuvieron diferente grado de éxito, Sosa hizo un muestreo en 1996 de las parcelas agroforestales sembradas en 1991 y 1992, calculó sobrevivencia, midió crecimiento y entrevistó a los dueños para incluir sus observaciones y reportar el manejo que se ha dado a cada parcela. En estas parcelas reporta una superveniencia de 22% de los árboles frutales, de los cuales 79% fueron cítricos, con el 21% restante dividido entre mango, aguacate, nance, zapote, caimito, guanábana, tamarindo, zaramulla, mamey y marañón (Sosa, 1998; Snook L. K., 1999).

Sosa reporta en 1966 una tasa de sobrevivencia promedio de 63% de los maderables (caoba y cedro) sembrados en las parcelas agroforestales establecidas en el año 1991.

En una evaluación de las especies nativas sembradas en áreas agrícolas bajo en Proyecto de Reforestación del CRASX, Smid (1999) reportó una tasa de supervivencia de árboles sembrados en 1995 (3 años de edad) de 64% en caoba, 73% para cedro, 88% pimienta, 55% amapola, 80% ceiba, 70% macolis y 100% para guano.

Los árboles en estos sistemas agroforestales, tanto en el Proyecto de Reforestación como en el Proyecto Agroforestal, representa una aportación con potencial económico significativo. Los bosques naturales de muchos ejidos de Calakmul y la Zona Maya ya no hay densidades económicamente interesantes de caoba y cedro (Zapata, 1996). Donde todavía hay madera, su aportación a la economía familiar, en la mayoría de los ejidos, es nula o insignificante (Zapata, 1996; Snook A. , 2000). Una hectárea de producción de caoba representa un ingreso muy significativo para una familia dentro de la región (Snook L. , 2002).

### 6.4.3 La milpa

La milpa es la técnica agrícola más utilizada, requiere la limpieza del terreno donde se va a cultivar; lo cual propicia que en ocasiones se corten áreas de selva, se lo quema y se siembra maíz en asociación con otros cultivos. La milpa aporta el principal producto para la dieta maya, el maíz, que en ocasiones también es cultivado en los solares –superficies que

no entran en las estadísticas de producción de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) pero que son de gran importancia en la economía familiar– y aporta mucho más satisfactorios que el grano mismo, ya que suele cultivarse una gran cantidad de especies asociadas o intercaladas junto al maíz (Mariaca, Schmook, Ruiz, & Martínez, 2003.).

Las comunidades rurales de Quintana Roo, especialmente las comunidades de la zona maya, tienen una larga tradición de convivencia con la selva. Sus formas de producción agrícola están muy ligadas al ecosistema selvático y reúnen una riqueza de estrategias que han funcionado durante siglos. La roza-tumba-quema, practicada por la mayoría de los campesinos en el estado, es un conjunto de actividades de producción agropecuarias y forestales, que se caracteriza por un periodo corto de cultivo (uno a tres años) alternado tradicionalmente con un periodo largo de descanso.

Durante el tiempo de cultivo, se extraen del suelo los nutrientes y merma la materia orgánica; y durante el periodo de descanso, que es cuando se recupera la selva, hay una recirculación de nutrientes entre el suelo y la biomasa vegetal (Mariaca, 2003). Sin embargo, el aparente “descanso” de las milpas no es tal, ya que la vegetación secundaria (o hu’che) es manejada por los campesinos mayas hasta que vuelven a ser milpas (Sanabria, 1986).

La milpa, del náhuatl “*milli*” (campo de cultivo, lugar donde se siembra maíz) o “*kool*” en maya yucateco, es por lo general una extensión de terreno de una superficie tal, que durante todo el año permite el abastecimiento de maíz para una familia, incluidos los animales de traspatio. Está formada por lo regular de dos y hasta tres áreas contiguas: el terreno cultivado por primera vez, el del segundo año y, dependiendo de las condiciones ambientales, el del tercer año.

Típicamente se cultiva el sitio de 2 a 4 años, antes de dejar la tierra descansar durante cuatro y 20 años antes de volver a iniciar el ciclo de nuevo. Durante el periodo de descanso, la vegetación nativa se regenera rápidamente formando un bosque secundario de alta diversidad conocido en la región como huamil.

La milpa es una actividad que puede justificar el corte de la selva o de vegetación secundaria madura; sin embargo, también es importante asegurar su pronta regeneración.

#### *6.4.3.1 Roza-Tumba y Quema*

En las selvas, los nutrientes necesarios para el desarrollo de la vegetación son liberados de los tejidos muertos. La vegetación absorbe rápidamente y en grandes cantidades estos nutrientes disueltos en el agua. El resultado de este proceso es que los nutrientes no se acumulan en el suelo, sino en la vegetación (Nye & Greenland, 1960). Por eso en la selva se encuentra la fertilidad, lo cual hace necesario tumbarla y quemarla. Al quemar la vegetación se liberan los nutrientes y además es la forma más barata de limpiar los terrenos, ayuda a eliminar las hierbas y por mí te sanear el suelo de plagas y enfermedades (sin el uso de químicos). Aunque las altas temperaturas de la quema matan también a algunas semillas, ha habido una adaptación a la propagación vegetativa, de la vegetación leñosa, por el manejo ancestral de roza-tumba-quema, motivo por el cual el germoplasma se ha conservado. Sobre el tiempo óptimo de barbecho, es decir, el tiempo necesario para recuperar la fertilidad para el siguiente cultivo, no hay consenso en la literatura. Hay autores que mencionan períodos de por lo menos 20 años (Ruthenberg, 1980.), hasta estudios más recientes (Mertz, 2008. ), que no ven una relación directa entre el tiempo de barbecho y los rendimientos. El cultivo de milpa es mucho más que la producción de maíz; está asociada al cultivo de distintos tipos de frijol, calabaza, verduras y hasta árboles frutales y maderables. Así mismo, se concibe la milpa como un espacio donde están presentes elementos culturales y religiosos como las ceremonias para pedir por las lluvias o las fiestas para ofrecer las primicias de la cosecha. Barrera Bassols y Toledo (2005) en un estudio reciente entre mayas yucatecos, encontraron que la estrategia de uso múltiple de la naturaleza, que privilegia, a escala de la unidad doméstica, el aprovechamiento de toda una variedad de recursos naturales, tanto para fines de subsistencia como para su intercambio económico local y regional, ha favorecido la resiliencia (o capacidad de recuperarse de perturbaciones) socio ambiental de los mayas.

#### *6.4.3.2 La milpa y La agro biodiversidad*

La milpa de los mayas yucatecos ha sido descrita y analizada en detalle por numerosos autores desde los años 50 (Hernández Xolocotzi, 1955)(Hernández Xolocotzi, 1955; Terán y Rasmussen, 1994). Los estudios han incluido minuciosas descripciones sobre el ciclo agrícola, los tipos de cultivos, con énfasis en las diversas razas locales de maíz, las herramientas de trabajo, los rendimientos de los cultivos y las limitaciones de la producción milpera. Por ejemplo, los trabajos realizados por Terán y Rasmussen (1994) y por Terán (1998)), ofrecen un recuento completo de la agro biodiversidad manejada a escala comunitaria. Estos autores mencionan el manejo de más de cincuenta especies de diversas plantas: seis variedades locales de maíz, seis clases de leguminosas (incluidas tres de frijoles), ocho tipos de calabazas, nueve tipos de chile, siete clases de jitomates, siete tubérculos y camotes comestibles, y otros cultivos más. Tal cantidad de especies y sus respectivas variedades manejadas por los mayas es el resultado de muchos años de selección, adaptación y domesticación de estas plantas a las condiciones de los suelos, clima y ecología de la Península de Yucatán (Colunga & Zizumbo, 2004; Pohl, 1996).

Esta alta agrobiodiversidad en las milpas mayas responde a una racionalidad tanto ecológica como económica. El análisis monetario que resulta de esta estrategia indica que los campesinos consideraron la distribución anual del tiempo de trabajo que dedican a sus diversas actividades, y la producción y proporción de la producción para autosubsistencia y el mercado (Toledo, 1990). Sin embargo, la dinámica de uso del suelo donde tradicionalmente se han insertado los campesinos mayas y donde encontramos un mosaico de milpas, acahuales (vegetación secundaria) de diferentes edades y bosques, está impactada por cambios demográficos, el desarrollo turístico, principalmente en la zona norte de Quintana Roo, y la migración a los Estados Unidos de Norteamérica. La migración sobre todo influye en la composición demográfica de las familias, y por ende en la disponibilidad de la fuerza de trabajo y los recursos monetarios que tienen a su disposición. La necesidad de producir para el mercado, por la cada vez mayor exigencia de contar con dinero en efectivo, representa un cambio en la organización de los diversos trabajos de las familias campesinas. Ya no es solamente el tiempo de trabajo que tienen que dedicar a la milpa y a las labores asociadas, sino la necesidad de dedicarse a otras actividades agrícolas comerciales. Todavía hoy predomina la idea de que la milpa es un sistema que sólo es



eficiente dentro de los límites del autoconsumo, pero incapaz de responder a las demandas de una población creciente. Técnicamente esa idea ha fundamentado la necesidad de su destrucción y sustitución por sistemas agrícolas más productivos, como la agricultura mecanizada. Académicamente, este prejuicio ha puesto en duda la posibilidad de que la milpa ha ya sido el sistema productivo que favoreció, en la Antigüedad, una alta cultura en el área. Esta idea contradice los datos agronómicos y ecológicos que señalan a la milpa bajo roza-tumba-quema como el único sistema aplicable en la mayoría de los suelos pedregosos en la Península de Yucatán. Si la milpa fue el sistema productivo dominante (aunque no el único) y, por lo tanto, mantuvo más gente que la que hay ahora en Yucatán –de acuerdo con evidencias arqueológicas (Garza & Kurjak, 1980; Turner & Miksicek, 1983), significa que la milpa estaba muy lejos de ser sólo de autosubsistencia y su capacidad para producir excedentes importantes se mantuvo durante la Colonia (Patch, 1978; Farris, 1984) y aun durante buena parte de nuestro siglo (Pérez, 1981; Villanueva, 1990). Esto quiere decir que la actual ineficiencia de la milpa no es un problema inherente al sistema. Más bien sería el resultado de condicionantes externas derivadas de procesos socioeconómicos. Uno de los problemas es que los montes han ido disminuyendo debido al desmonte por varios actores, muchas veces con el apoyo de programas gubernamentales. Si los límites del sistema milpa se originan en condiciones externas, significa que es más potente de lo que nos imaginábamos y que lo importante, entonces, no es destruirlo, sino modernizarlo con la incorporación de nuevos factores y la recuperación de los elementos que lo favorecen.

#### *6.4.3.3 Cultivos destacados de Quintana Roo*

La importancia de la milpa para la agricultura de Quintana Roo se puede apreciar toda vía en la superficie sembrada. En 2009 se registraron 123 815 ha de cultivos; de éstos, 89 755 ha (96.1% de temporal, 3.9 % de riego) fueron de maíz, o sea milpa. De los otros cultivos destacan: frijol en 3 250 ha (temporal); chile jalapeño, 2 459 ha (temporal); sorgo, 1 013 ha (temporal); naranja 2 772 ha (temporal y riego); y sandía en 349 ha (90 % es de riego) (SAGARPA, 2011). Adicionalmente se cultivan 22 229 ha de caña de azúcar, principalmente en la ribera del Río Hondo (INEGI, 2010).

#### 6.4.4 El solar

El agro-ecosistema solar o huerto familiar se caracteriza por ser un sistema de producción agrícola tradicional manejado por la unidad familiar campesina, en diferentes regiones del país o del mundo.

Los solares son unidades ambientales del paisaje natural transformado, donde se establece la casa habitación, puede ocupar una superficie pequeña o grande dada por el nivel socioeconómico o el cambio en la tenencia de la tierra dentro de la comunidad. Poseen una riqueza florística silvestre y domesticada, por lo general perenne, y una estructura variable que mantiene animales domésticos (aves, cerdos, bovinos, caprinos) y silvestres (jabalí, venado y diversas aves).

Los recursos vegetales que se manejan dentro de este sistema de producción están conformados por especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de uso múltiple, en íntima relación con los animales domésticos, amén de formar parte del manejo integrado de los recursos naturales que han realizado las comunidades mayas en la península de Yucatán durante milenios (Ruenes, 1999).

##### 6.4.4.1 Funcionamiento del solar

Una función o del solar o huerto familiar desde los puntos de vista cultural y social es dar cohesión a la unidad familiar y a la comunidad a través de las acciones de preservación, enriquecimiento y difusión del saber de sus habitantes, ya que en el manejo del solar se refleja gran parte del conocimiento que poseen sobre fenómenos biológicos como: la temporada de floración, de fructificación, la necesidad de agua, solo sombra, de sus ciclo de vida, de las plagas, como se reproducen, como se cuidan, las plantas y los animales.

Por eso se dice que los solares son laboratorios experimentales. Dada la riqueza florística que se alberga en los solares que está representada por diversas plantas arbóreas, arbustivas y herbáceas con múltiples usos así como la riqueza faunística conformada por los animales domésticos, silvestres, domesticados y semidomesticados, por lo que le confieren a los solares ser sitios idóneos de conservación de germoplasma in situ amén de realizar

selección artificial de diversas especies dando como resultado el manejo de diversos cultivares y razas.

Cabe señalar que conociendo sus bases y principios ecológicos nos darán los elementos para entender las estrategias que utilizan las familias campesinas para proveerse de productos de origen animal y vegetal para su subsistencia a la puerta de la casa y excedentes económicos. De esta manera su estudio puede sentar las bases para planear modelos agroforestales alternativos en el manejo de recursos bióticos ya además de evitar la compra de diversos productos alimentarios, medicinales, forrajes, ornamentales entre otros, se hace un uso integral y sostenible de los recursos a través del cual se favorece el reciclaje de nutrimentos, se mantiene la biodiversidad y se obtienen excedentes que generan ingresos económicos siendo una fuente de ingresos económicos a corto, mediano y largo plazo.

Esta es una actividad complementaria de la actividad principal de los miembros como lo es la cosecha del maíz, secado, y selección de semillas para la siguiente temporada agrícola; o sea el trabajo en la milpa, o el trabajo asalariado, y la escuela (Ruenes, Aké, & Jiménez, 1999)



## 7 SISTEMA ACUAPÓNICO

### Consideraciones generales

La Acuaponia puede definirse como la combinación de un sistema de acuicultura recirculante (RAS, por sus siglas en inglés), con la hidroponía, definiendo acuicultura como el cultivo de animales acuáticos como peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas en ambientes controlados, e hidroponía como el cultivo de plantas colocando las raíces en soluciones nutrientes (Malcolm, Backyard aquaponics. A guide to building an aquaponic system., 2005; Parker, Aquaculture science. , 2002). En términos generales se trata de generar un sistema en el cual los desechos orgánicos producidos por algún organismo acuático (generalmente peces) son convertidos, a través de la acción bacteriana, en nitratos, que sirven como fuente de alimento para plantas. Estas a su vez al tomar estos nitratos, limpian el agua para los peces actuando como filtro biológico (Nelson, Acuaponía. , 2007; Parker, 2002; Van Gorder S. , 2000). La producción simultánea de peces y plantas es posible debido a que los requerimientos del sistema para la crianza de peces son muy similares a aquellos requeridos para cultivar plantas.

Ilustración 7-1. CICLO DEL PROCESO DE NITRIFICACIÓN.



Ciclo del Nitrógeno en Acuaponía. Fuente: The Aquaponics Guidebook, 2011.

Básicamente los peces secretan amonio, luego ocurre el proceso de nitrificación con las bacterias consumiendo amonio convirtiendo los nitritos en nitratos para ser absorbidos por las plantas.

### 7.1 Elementos que integran un sistema acuapónico

En términos generales un sistema acuapónico consta de los siguientes elementos (Nelson, Acuaponía, 2007): estanque para peces (u otros organismos acuáticos), clarificador (o filtro de sólidos), desgasificador, bio-filtro, camas de crecimiento para plantas, sifón, sistemas de bombeo de agua y sistemas de aireación. Estos elementos se conectan de tal forma que el agua rica en nutrientes pasa del estanque de peces al clarificador, donde se eliminan la mayor parte de partículas disueltas, tanto grandes como pequeñas. Otra posible función del clarificador es servir como receptáculo para la adición de elementos tales como hidróxido de calcio, hidróxido de potasio, y quelatos de hierro, que sirven para mantener un pH cercano a 7, e incrementar la concentración de potasio y hierro, ya que en general los

sistemas acuapónicos son deficientes en estos elementos (Lennard W. , Aquaponics research ar RMIT university, 2004).<sup>14</sup>

Cuando se pasa al bio-filtro, el cual tiene una gran superficie que le permite alojar una gran cantidad de bacterias (Rakocy J. E., 2008), que convierten el amonio en nitrito, y otras que convierten el nitrito en nitrato. <sup>15</sup>

Estas conversiones son vitales, ya que tanto el amonio como el nitrito son altamente tóxicos para los peces, incluso a concentraciones muy bajas, mientras que el nitrato solo lo es a concentraciones bastante altas. A continuación el agua pasa a las camas hidropónicas de crecimiento que pueden tener grava, ser de tipo NTF (nutrient film technique), e incluso pueden ser camas flotantes. En estas camas se siembran las plantas, ya sea como semilla, o luego de un período variable de crecimiento en algún tipo de semillero. El agua puede ser enviada directamente de regreso al tanque de peces, o pasar primero por un sifón que colecta el agua proveniente de todas las camas de crecimiento, para luego ser llevada nuevamente al estanque de peces y reiniciar el ciclo. La conducción de agua se realiza utilizando tubería, que generalmente es de PVC, en la cual se incluyen válvulas que permitan aislar diferentes componentes del sistema para efectos de lavado. Adicionalmente es clave el mantenimiento de una buena aireación ya que todos los componentes biológicos del sistema requieren de un buen suministro de oxígeno: los peces de forma permanente, lo mismo que las bacterias, y las plantas en la noche cuando no llevan a cabo la fotosíntesis.

La falta de aireación puede ocasionar una disminución del pH, y esta disminución puede generar estrés en los peces causándoles la muerte y si hay plantas sembradas también puede ocasionar un estrés en ellas (Hallams M., 2008).

---

<sup>14</sup> Para Resolver la fuerte tendencia a la disminución del pH se añade al sistema hidróxido de calcio e hidróxido de potasio, subiendo el pH hasta 7 (Rakocy J. , Aquaponics: Vegatable Hydroponics in recirculating systems. , 2002).

<sup>15</sup> Se pueden adicionar cepas de bacterias nitrificantes comerciales con el fin acelerar la conversión de nitritos a nitratos y favorecer el aumento de estas bacterias en el sistema.

### 7.1.1 La acuicultura en los RAS

Los RAS están diseñados para criar grandes cantidades de peces en relativamente pequeños volúmenes de agua, esto se logra con un proceso que remueve la acumulación de desperdicios tóxicos, y ocasiona que pueda ser reutilizada como agua tratada. Durante el ciclo recurrente de tratamiento y reutilización, nutrientes no tóxicos y materia orgánica se acumula en el agua. Estos metabolizadores orgánicos son potencialmente valiosos y pueden ser usados para crecer plantas.

### 7.1.2 La hidroponía en los RAS

Las plantas crecen rápidamente en respuesta a los altos niveles de nutrientes disueltos en el agua, estos son producidos directamente por las excreciones de los peces o generados por la descomposición de los desperdicios (alimento no consumido y diluido). Solo una fracción de alimentos para los peces (20 a 30%) (Church & Pond, 1982), se aprovecha como nutriente para el crecimiento de las plantas. Cabe mencionar que aunque en los RAS se realizan cambios de agua en niveles del 5% diario, la acumulación de nutrientes corresponde a la acumulación encontrada en hidroponía.

### 7.1.3 El proceso de aprovechamiento del nitrógeno

Particularmente puede ocurrir que el Nitrógeno se presente en altas concentraciones en sistemas de acuicultura. Los peces emiten desperdicio nitrogenado a través de sus branquias en forma de Amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). Las bacterias convierten el amoniaco en nitrito y luego en nitrato. Amoniaco y nitritos son ambos tóxicos para los peces, pero los nitratos son relativamente inocuos y la forma preferida de nitrógeno por las plantas (altas sobretodo, como plantas frutales). La relación simbiótica que se da entre peces y plantas a partir de este método, es lo que constituye un criterio razonable para el diseño del sistema (Rakocy J. , Aquaponics: Vegetable Hydroponics in recirculating systems. , 2002).



## 7.2 Ventajas y desventajas de la Acuaponia

### 7.2.1 Aprovechamiento de las aguas residuales en Acuaponia.

Los sistemas acuapónicos ofrecen muchas ventajas. En los RAS, la eliminación de desperdicio acumulado es siempre una gran preocupación. Los sistemas recirculantes son promovidos como medios para reducir el volumen de desperdicio descargado al entorno ambiental. Ciertamente el volumen es reducido pero la carga contaminante (materia orgánica, nutrientes disueltos) por unidad de descarga es correspondientemente más alta. Esta descarga más concentrada puede generar un problema al ambiente en algunas situaciones, o un gasto adicional si el agua residual es descargada a un alcantarillado municipal para tratamiento posterior. Las aguas residuales son descargadas por el sistema para eliminar sedimento orgánico y prevenir la acumulación de nutrientes.

En los sistemas acuapónicos las plantas captan gran porcentaje de estos nutrientes, lo que reduce la necesidad de verter agua al entorno ambiental extendiendo así su uso, es decir, al remover nutrientes disueltos mediante el absorbimiento de las plantas, la periodicidad del cambio en el agua se reduce considerablemente. Disminuir la frecuencia en los cambios de agua reduce los costos de operación de los sistemas acuapónicos, sobretodo en climas áridos e invernaderos calefaccionados donde el agua y el calentamiento del agua representan un gasto significativo.

### 7.2.2 Rentabilidad en Acuaponia

La rentabilidad es siempre una mayor preocupación cuando se considera un sistema recirculante. La construcción y operación de los sistemas recirculantes son costosas, y la rentabilidad frecuentemente depende del concurrente posicionamiento en nichos de mercado para peces vivos tales como la tilapia, pescados enteros congelados, u otros productos de alto valor comercial.

En Acuaponia dado que las plantas reciben la mayoría de sus nutrientes requeridos sin costo adicional, se mejora el potencial de las ganancias. La alimentación diaria de los peces concede un aprovisionamiento estable de nutrientes para las plantas, lo cual reduce o elimina la necesidad de descargar o remplazar el excedente de soluciones nutritivas o

ajustar los niveles de estas como sería requerido en la hidroponía. También se puede incrementar las cosechas en sistemas cerrados gracias a la emisión de dióxido de carbono emanado por la cultura de peces.

Las plantas purifican el agua de la acuicultura y pueden, en instalaciones adecuadas, eliminar la necesidad de un gasto adicional en filtros por separado. De hecho, los filtros representan el mayor gasto en capital y al mismo tiempo un gasto operacional menor. Un buen diseño en un sistema acuapónico emplea arena, grava, o camas flotantes hidropónicas, este componente hidropónico puede proporcionar suficiente bio-filtración a los peces, y por tanto, se evita incurrir en el costo de comprar y operar un filtro, este costo sería concedido al subsistema hidropónico, que en el caso de a lechuga representaría aproximadamente dos terceras partes de los ingresos. Esto nos dice que la rentabilidad de sistemas recirculantes puede ser mejorada sustancialmente con la Acuaponia, siempre y cuando se determine un buen mercado para las cosechas.

El gasto en el monitoreo en la calidad del agua se reduce en sistemas acuapónicos tal que los nutrientes del desperdicio son generados diariamente a niveles uniformes y existe generalmente excesiva capacidad para tratar las aguas residuales (Rakocy J. , Aquaponics: Vegetable Hydroponics in recirculating systems. , 2002). En estos sistemas también se genera ahorro ya que se comparten costos de operatividad e infraestructura para bombas, extractores, reservorios y sistemas de alarma en las áreas de construcción y operación.

La inversión inicial es reducida si se considera que un sistema acuapónico puede ser erigido con un modesto incremento en dimensiones sobre lo requerido para instalaciones de un sistema hidropónico. El sistema acuapónico requiere altos niveles de inversión inicial, moderados implementos energéticos, y manejo calificado. Pero los precios para productos orgánicos “Premium” disponibles en ciertos nichos de mercado pueden ser requeridos para conceder rentabilidad a las instalaciones de sistemas acuapónicos.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> De acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación que dirige Rakocy (2008) en la UVI, se reportaron que en pruebas con tilapia del Nilo (77 peces/m<sup>3</sup>) y roja (154 peces/m<sup>3</sup>) y con cosechas cada 6 semanas, las producciones promedio de las últimas 20 cosechas fueron de 61.5kg/m<sup>3</sup> para tilapia del Nilo y 70.7 kg m<sup>3</sup> para tilapia roja. El peso promedio fue de 813.8 g para tilapia del Nilo y 512.5g para tilapia roja. La producción anual estimada es de 4.16 t para tilapia del Nilo y 4.78 t para tilapia roja. La albahaca fresca con tallo que se vende por \$22/kg en USA, por lo tanto le ingreso de una producción escalonada debe ser US\$515/m<sup>2</sup>/año y

### 7.3 Desventajas de los RAS

Existen, por supuesto, desventajas en los sistemas acuapónicos. La que más resalta es la diferencia que puede existir en la superficie requerida tanto para la cultura de peces como la producción de plantas. Un área mucho más amplia para cosechar vegetales es necesaria para lograr que los niveles en los nutrientes permanezcan relativamente constantes. Las razones varían desde 2:1 hasta 10:1, inclusive mayores dependiendo del grado en la remoción de los sólidos. En esencia, los sistemas acuapónicos se destacan por la productividad en cultivos de plantas mayormente, que representaría al mismo tiempo una ventaja si se mira desde la perspectiva de un horticultor.

En sistemas acuapónicos el trabajo se concentra mayormente en la plantación, trasplante, mantenimiento, cosecha y empacamiento, pero para un mejor funcionamiento, podrían ser requeridos los servicios de acuicultores y horticultores si la operación de la granja es a escala comercial.

Otra desventaja que se puede encontrar es que el horticultor debe encontrar métodos de control orgánicos, en lugar de pesticidas para combatir plagas y enfermedades. Sin embargo, esta restricción puede ser considerada como una ventaja si al comercializarse se etiqueta como un producto como libre de pesticidas.

### 7.4 Diseño del sistema Acuapónico

Los sistemas acuapónicos se basan principalmente en el diseño del sistema recirculante, con la adición del componente hidropónico para evitar la incorporación adicional de un dispositivo de bio-filtración, y otros componentes que remuevan los sólidos tales como los fraccionadores de espuma. Generalmente los sólidos disueltos y la materia orgánica encontrada en un sistema acuapónico no alcanzan niveles que requieran fraccionadores de

---

US\$110,210/sistema/año, comparado con el resultado de la producción sobre tierra que tendría un ingreso total de US\$172/m<sup>2</sup>/año y US\$36,808/año para la misma área de producción. El ingreso total del sistema sería de US\$134,245 cuando se incluyen a los peces.

espuma, siempre y cuando la proporción entre las superficies destinadas para los peces y hortalizas sean las adecuadas.

Los elementos esenciales de un sistema acuapónico consisten en estanques para la crianza de peces, un componente para la remoción de sólidos, un bio-filtro y componentes hidropónicos (Rakocy & Hargreaves, 1993).

#### 7.4.1 Funcionamiento del sistema

Como primera etapa, se tratan las aguas residuales para reducir los sólidos suspendidos, el siguiente tratamiento consiste en oxidar el amoníaco y el nitrito para la nitrificación, luego, el agua fluye por la unidad de producción hidropónica donde las plantas absorben los nutrientes disueltos. Finalmente, el agua es colectada en un reservorio (sump), donde es regresada al estanque acuícola. El sistema puede ser configurado de tal manera que una porción del flujo sea desviada a una unidad especial de tratamiento (Naegel, 1997; Quillere, 1993). Por ejemplo, se puede dirigir una porción menor del flujo directamente a la unidad hidropónica después de la remoción de sólidos mientras que la mayor parte del agua pasa a través de un bio-filtro y regresa directamente al estanque acuícola. En realidad existen muchas alternativas disponibles para el diseño del sistema dependiendo de las dimensiones de cada unidad individual y de las metas del proyecto; si es para producción comercial o sólo un hobby.

#### 7.4.2 La bio-filtración de las aguas residuales

La bio-filtración y la hidroponía se combinan utilizando un medio de soporte para las plantas, como la grava, (Sutton & Lewis, 1982; Watten & Busch, 1984; Rakocy J. , 1994; Hallams M., 2008) o arena (McMurtry, 1990. ), que funcionan como medio para la bio-filtración. Las láminas hidropónicas de polietileno (*rafting system*) pueden de igual manera proveer suficiente bio-filtración si el área destinada para las plantas es suficiente (Rakocy J. , 1995). Una de las principales ventajas de la Acuaponía es que consigue la bio-filtración a través de la hidroponía resultando con la eliminación del gasto extra para un equipo de bio-

filtración adicional. Una alternativa de diseño combina la remoción de sólidos, bio-filtración, e hidroponía en una unidad.

El medio de soporte hidropónico (grava o arena gruesa) captura los sólidos y provee la superficie necesaria para la nitrificación, aunque es importante que no se permita que la unidad se sobrecargue con sólidos. De hecho, la sobrecarga de sólidos es siempre una amenaza debido a variaciones en la actividad alimentaria de los peces y la eficiencia del componente para la remoción de sólidos, por lo tanto Rakocy recomienda evitar el uso de grava o arena para operaciones de escala comercial (Rakocy J. , 2002). Sin embargo, Hallam's (2008) recomienda el uso de grava de  $\frac{3}{4}$ " (20mm), un tamaño menor podría ocasionar la reducción en el flujo de los fluidos, la acumulación excesiva de sólidos, y por tanto el colapso del sistema por la aireación insuficiente y el aumento en los niveles de toxicidad del agua.

#### 7.4.3 Investigación en la Universidad de las Islas Vírgenes

En los sistemas desarrollados en la Universidad de las Islas Vírgenes (UVI), el trabajo experimental condujo después de un tiempo a utilizar un diseño que consistía principalmente en estanques para la cultura de peces de  $12.8\text{m}^3$ , un clarificador de  $1.9\text{m}^3$ , un par de camas hidropónicas de  $13.8\text{m}^2$ , y un reservorio de  $1.4\text{m}^3$ . Las camas hidropónicas tenían una profundidad de 28cm, que inicialmente fueron rellenas con grava sostenidas en una malla de metal que hacía como un fondo falso de 7.6cm. La cama de grava que servía como medio bio-filtración fue alternadamente inundado con agua de la de piscicultura para después ser drenada. Se designó un espacio para el proceso de nitrificación que Rakocy reconoció como RBC (*rotaring biological contactor*) por sus siglas en inglés; una parte de las aguas residuales que provenía del clarificador fue dividida en dos flujos, uno que descargaba directamente a los componentes hidropónicos y el otro al RBC (Rakocy J. , 1994).<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> También Rakocy dedujo de este experimento que la utilización de grava resulta ser problemático por lo que reconfiguró el sistema adaptando placas de polietileno (*raft system*).

El sistema experimental fue agrandado dos veces. En el primer agrandamiento cada cama hidropónica fue aumentada de 6.1m a 29.6m. En el segundo incremento, el número de camas hidropónicas fue aumentado a seis, mientras que los estanques acuícolas se incrementaron a cuatro (7.8m<sup>3</sup> de volumen de agua cada uno).

El actual sistema acuapónico a escala comercial prevaleciente en la UVI, se compone de un sistema con estanques múltiples para la acuicultura simplificando así el manejo de las existencias y evitando mover de lugar a los peces durante su ciclo de crecimiento que consta de 24 semanas. El sistema consiste de 4 estanques para la cultura de los peces (7.8m<sup>3</sup> de volumen de agua cada uno), dos clarificadores con forma de embudo (3.8m<sup>3</sup> cada uno), cuatro estanques de filtración (0.7m<sup>3</sup> cada uno), un estanque desgasificador (0.7m<sup>3</sup>), seis camas hidropónicas (11.3m<sup>3</sup> cada una, 29.6m x 1.2m x 0.4m). El área de superficie total hidropónica es de 214m<sup>2</sup>, y el volumen de agua total del sistema es de 110 m<sup>3</sup>. (Rakocy J. E., 2008).

Ilustración 7-2. IMAGEN DEL SISTEMA DESARROLADO EN LA UVI.



Sistema Acuapónico Recirculante (RAS) de la Universidad de las Islas Vírgenes, E.U.;

Fuente: UVI.

### 7.5 Manejo de la producción

Básicamente el manejo de los peces está determinado por las metas comerciales que establecerían la cantidad de unidades necesarias. En el sistema presentado en este trabajo se utiliza el método de “Unidades múltiples para la cultura”. El sistema dispuesto que contempla tres estanques de diferente tamaño en cada **nodo**, permite que los peces de un primer grupo completo alcancen su tamaño comercializable sin ser manipulados durante su crecimiento evitando que los peces se estresen. También la clasificación de los estanques ofrece en cierta medida certidumbre en la proyección de la producción y en los niveles de los diferentes compuestos biológicos (Van Gorder S. , 1991).

### 7.6 Productividad

La producción consiste en transferir cada grupo de peces cada 8 semanas completando así su ciclo completo de 24 semanas. El sistema pretende utilizar Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) para aprovechar la adaptabilidad que tiene la especie para reproducirse en este sistema. Los alevines son manipulados durante sus primeras etapas para revertir su sexo con  $17\alpha$ -metiltestosterona para obtener consistentemente un alto porcentaje de peces machos ( $\approx 99\%$ ) de acuerdo con INAD (2002) (Investigación de Nuevas Drogas para Animales), por sus siglas en inglés. Los alevines de Tilapia del Nilo son acumulados en un rango de 77 peces/m<sup>3</sup> para obtener una producción de 900-1000g por cada pez recolectado (Rakocy J. , 2002). Esta producción se destina principalmente al mercado del filete de pescado. Cada 8 semanas aproximadamente 3,750kg de pescado sería recolectado de acuerdo a las capacidades totales del sistema trabajando a un ritmo de cosecha escalonada máximo de 625 peces/nodo/2meses (1 pez c/litro). La producción anual de Tilapia en este sistema debe ser de 22.500kg/m<sup>3</sup>.



## 7.7 Vegetales que se adecuan al sistema Acuapónico

Muchos tipos de vegetales han sido producidos en sistemas acuapónicos. Cultivos de alto valor comercial como el tomate, la lechuga, y pepinos han sido utilizados muy frecuentemente a escala experimental. Todos ellos han probado ser adecuados para el sistema acuapónico. La lechuga es uno de los mejores para sistemas acuapónicos porque puede producirse en periodos de tiempo cortos (3 a 4 semanas en el sistema) y como consecuencia, la presión a plagas es relativamente baja, y a diferencia de los tomates o pepinos una alta proporción de la biomasa es comestible (Rakocy, 2007). Con la lechuga el ingreso por unidad es muy alto. Otras cosechas de alto rendimiento económico y de rápido crecimiento son las hierbas como la albahaca, la menta y el orégano que han sido cultivadas a escala comercial en sistemas acuapónicos (Rakocy y Hargreaves, 1993; Cuthbert, 2008). Otros cultivos con gran potencial incluyen a la col, frijol (Mc Murtry et al. 1990) y apio (New Alchemy institute, 1980). Recientes trabajos en la UVI han demostrado que roble, melón, sandía, col, y frijol tienen excelente potencial, lo mismo que los chicharos (Toever & MacKay, 1980), la calabacita (Lewis, Yopp, Brandenburg, & Schnoor, 1981) y los pimientos (Pierce, 1980). El camote se ha producido muy bien pero no los tubérculos (Lewis et al. 1980). El cultivo de flores tiene gran potencial en Acuaponia, buenos resultados han sido obtenidos en caléndula, zinnia y berro de agua en los sistemas de la UVI. Pero algo muy relevante son los resultados que en su experiencia como consultor ha conseguido el propio Hallam's (2008), operando RAS funcionando a plena capacidad de bio-filtración (suficiente población bacteriana) sobre camas de cultivo con grava de  $\frac{3}{4}$ ", obteniendo producción continua de diversas especies vegetales como las lechugas y de hoja verde, forrajes de todo tipo incluyendo variedades comunes de maíz, frutas tropicales, flores, y verduras principalmente, lo que demuestra la versatilidad y posibilidades del sistema.



## 7.8 Sistemas de producción en los cultivos

De acuerdo con Rakocy (2002) existen tres estrategias fundamentales para producir cosechas vegetales en el componente hidropónico. Estos son cosechas escalonadas, cosechas por lotes, y la “intercosecha”.<sup>18</sup>

### 7.8.1 Estrategia de producción

Se pretende que el sistema propuesto tenga la capacidad de producir especies diversas de vegetales de hoja verde, forrajes verdes, hierbas medicinales y plantas frutales principalmente, para ello debe tomarse en cuenta la organización de la producción y la distribución del espacio físico fundamentalmente. Los cinco nodos que componen el sistema brindan la posibilidad de separar la producción de acuerdo a la especie que se quiere producir. Esta posibilidad otorga la ventaja de poder escoger un sistema de producción, organizar la producción periódicamente y programar su distribución. Además que de esta forma se controla con estabilidad el entorno atmosférico adecuado según la especie coadyuvando directamente en la productividad. Por ejemplo, un nodo que es asignado para producir lechuga adopta el sistema de producción de “cosecha escalonada” donde se programa la cosecha para un periodo de tres semanas, tiempo que necesita la lechuga para alcanzar su medida comercial, por lo tanto, tres etapas diferentes de crecimiento son cultivadas simultáneamente y una tercera parte se cosecha semanalmente.<sup>19</sup> Todos los sistemas de producción se contemplan en este proyecto, esto

---

<sup>18</sup> *La cosecha de tipo escalonada* es aquella en la cual grupos de plantas en diferentes etapas de crecimiento son cultivadas simultáneamente en el subsistema hidropónico, este sistema de producción permite la regularidad en las cosechas y una relativamente constante absorción de nutrientes del agua de cultura. Dicho sistema es más efectivamente implementado donde los cultivos pueden crecer continuamente, como en los trópicos, subtropical, o temperaturas de invernadero con control ambiental. En la mayoría de los experimentos este sistema de producción es aplicado debido a que los cultivos pueden ser cosechados en periodos de tiempo esperados. (Zweig, 1986) desarrollo un sistema flotante en un invernadero donde seis grupos de lechuga de diferentes etapas de crecimiento fueron cultivados. En la UVI, la producción de lechuga es escalonada para que los cultivos puedan ser cosechados semanalmente el mismo día, lo que facilita la organización mercadológica. Los vegetales como lechugas, hierbas, y otros cultivos con periodos de producción cortos se adaptan bien a los sistemas escalonados de producción. *Las cosechas por lotes* son más apropiadas para cosechas que crecen por temporada o que tienen periodos largos de crecimiento (>3 meses) como el tomate y el pepino. Cuando se conjunta el cultivo con lotes con los cultivos escalonados tenemos el *intercultivo*. Por ejemplo, si la lechuga es intercultivada junto con tomate y pepinos, una cosecha de lechuga puede ser cosechada antes que la planta de tomate desarrolle sombra que limite la penetración de luz (Resh, 1995).

<sup>19</sup> La lechuga Mantecosa alcanza la medida comercial a las tres semanas de ser trasplantada, por lo tanto, tres diferentes etapas de crecimiento son cultivadas simultáneamente y una tercera parte del cultivo es cosechada semanalmente; la lechuga Romana de hoja roja requiere de cuatro semanas para alcanzar su tamaño comercializable; el cultivo de cuatro etapas de crecimiento de esta variedad de lechuga permite que un cuarto del cultivo sea cosechado semanalmente. De hecho en tres años de operación en el sistema de escala comercial en la UVI, 148 cosechas de lechuga fueron cosechadas, lo que demuestra la sostenibilidad del sistema (Rakocy J. E., 2008).

estará en función principalmente de la especie producida, los productos como la lechuga, las hierbas y otros cultivos con periodos de producción cortos se adaptan mejor en el sistema de cultivo escalonado de producción, mientras que muchos otros se adaptan mejor al sistema de “cosecha por lotes” que son más apropiadas para cosechas que crecen por temporada o que tienen periodos largos de crecimiento (>3 meses) como el maíz, tomate y pepino.

### 7.9 Rendimiento en los cultivos

En los experimentos llevados a cabo en la UVI la variedad de jitomate “Guaje” fue la que mejores rendimientos demostró con cosechas de 10.1 kg/planta seguido del “Bola” con 9.0 kg/planta, para las cosechas en variedades de lechuga podemos destacar dentro de las más comerciales a la del tipo “Mantecosa” con 193 g/planta, y la “Criolla” con 180 g/planta, la col china del tipo “LeChoi” con 508 g/planta y la “Morada” con 589 g/planta, para variedades y cosechas de pepinos evaluados en Acuaponia se encuentra la de tipo “Cohombro” con 4.1 kg/planta y la “Criollo” de también 4.1 kg/planta (Rakocy & Hargreaves, 1993).

Muchos investigadores han determinado que las cosechas de los cultivos en sistemas acuapónicos han sido mayores que los llevados a cabo en tierra aun estando bajo las mismas condiciones ambientales (Lewis et al. 1980; Watten y Bush, 1984; McMurtry et al. 1990). Dentro de las variedades más populares en México tenemos la lechuga “Romana” y la de “Hoja verde y roja” que también fueron cultivadas en los sistemas acuapónicos de la UVI alcanzando los 660g y 532g respectivamente en cuatro semanas, mientras que la del tipo “Batavia” creció a una medida promedio de 786g en cinco semanas.

### 7.10 Densidad espacial

Rakocy, (2004) establece que la densidad de las plantaciones corresponde a 16 plantas/m<sup>2</sup>, que es cuatro veces más grande que la densidad típica para cultivos producidos en tierra que corresponde a 4 plantas/m<sup>2</sup>, sin embargo este aspecto puede variar de acuerdo al diseño de los contenedores y los objetivos del sistema, pero hay De hecho un sistema acuapónico

puede producir 13 cosechas de lechuga por año opuesto a los cuatro o cinco que permiten las áreas de rondas anuales. También se puede destacar la producción de jitomate en sistemas acuapónicos que es de 8.2-9.1 kg/planta, que representa a un promedio similar con otros sistemas hidropónicos (Resh, 1995). En realidad el potencial del sistema puede medirse con sistemas que no son más populares que los sistemas acuapónicos como serían la hidroponía y NFT.

La referencia expuesta nos permite aprovechar los datos para preparar un aproximado de lo que sería la producción y el equivalente en términos económicos para poder evaluar lo más asertivamente la pertinencia del proyecto. 20

Uno de los países que muestra gran interés en la Acuaponia es Australia. El caso de la granja Minnamurra muestra cifras muy interesantes (Lennard W. , 2006): las proyecciones (relativamente conservadoras) indican que para una inversión de unos 30.000 dólares, se pueden obtener una ganancia en el primer año de alrededor de 20.000 dólares. Claro que en este caso se elimina parte de la inversión inicial ya que esta granja trabajaba anteriormente con sistemas de recirculación en acuicultura.21

---

20 En el sistema de tamaño comercial de la UVI, la producción de lechuga ha promediado 26 cajas por semana y variado en rangos de 12 a 38 cajas (24-30 cabezas/caja). La producción anual ha alcanzado un promedio de 1,350 cajas (Rakocy J. E., 2008).

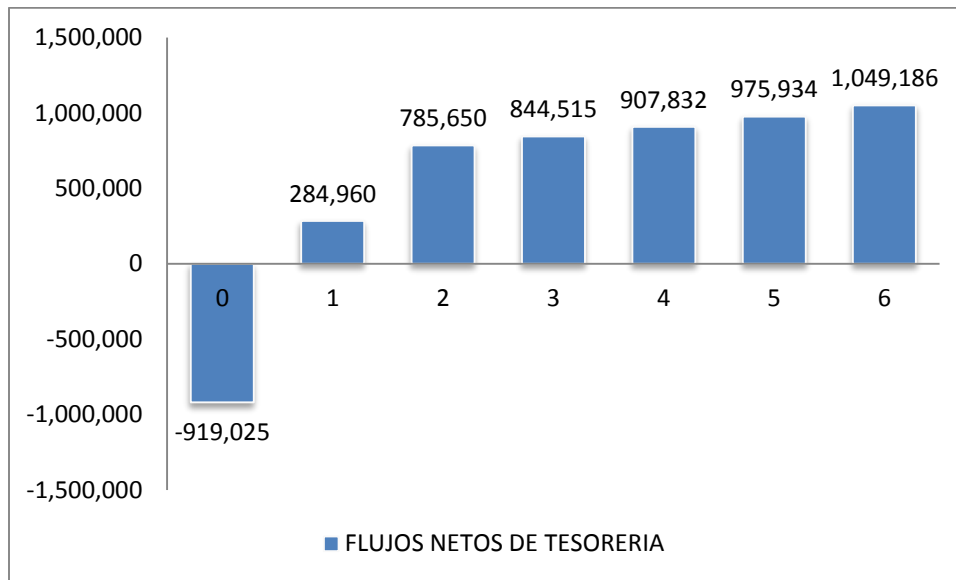
21 Uno de los aspectos más interesantes presentados en la Conferencia Internacional para cultivos sin suelo llevada a cabo en Singapur en el año 2005 (Wilson, 2005b) fue la comparación desde el punto de vista productivo, con la hidroponía. Un sistema acuapónico que no haya desarrollado completamente su población bacteriana, y por lo tanto sus capacidades de bio-filtración no sean las adecuadas, muestra una producción baja comparada con platas crecidas utilizando sistemas hidropónicos orgánicos. Sin embargo, si se deja el tiempo suficiente (en el caso reportado, unos seis meses), la Acuaponia genera una producción mayor que la hidroponía.

## 8 UTILIDAD ECONOMICA DEL SISTEMA

### Supuestos principales

#### 8.1.1 Ingresos

- Precios: Se proyectaron constantes: \$22.57 / m<sup>2</sup> de producción, a precios de ASERCA con datos de SNIIM de Mayo de 2011.
  
- Cantidad: se calcula una producción total de 108,311 kg / año, dividida entre 7 diferentes especies manejadas en 6 nodos que manejan un área de 173 m<sup>2</sup> independientes cada una. Para el año uno la producción estimada es la mitad que la proyectada para todos los demás, esto debido a que el sistema requiere de un periodo de seis meses para lograr un óptimo comportamiento biológico del sistema y de su capacidad de bio-filtración (grado de mineralización) Wilson (2005b).
  
- Especies: las especies propuestas con las que tiene ya han sido consideradas en un proceso científico que determino resultados que específicamente aquí se manejan para obtener una observación documentada de las cantidades expuestas. La lechuga orejona, la albahaca, el pepino y la trucha son cantidades representadas en los estudios del Dr. Rakocy, (1997, 2000, 2004) mientras que el tomate, amaranto, y espinaca son proporciones directas de los resultados del Dr. Savidov (2004).



### 8.1.2 Costos totales

Los costos corrientes totales esperados son de \$ 342,860, y un costo unitario de \$ 2.06 para el primer año.

- ☞ Costos fijos: se consideran 10 empleados para el manejo del sistema agroforestal en su conjunto, la realidad de esta técnica muestra que debido a la gran capacidad autosuficiente solo se tiene que hacer una inspección general del sistema para un óptimo funcionamiento, tareas básicas como alimentar a los peces y la observación de las cosechas abre la posibilidad de canalizar mano de obra disponible a labores de la milpa donde la carga de mano de obra es más fuerte. Se consideran salarios de \$ 8,000 pesos mensuales con el propósito de mantener condiciones financieras un tanto hostiles que permitan demostrar la viabilidad del proyecto. También se consideran diversas cuotas impositivas que podrían oscilar en el orden de los \$ 40,000 pesos anuales por conceptos de cuotas, derechos y comisiones al estado principalmente.
- ☞ Costos variables: se han considerado tres etapas de producción para el cálculo de los costos. La primera etapa es establecida como la etapa de cultivo que debe desarrollarse cada semana de acuerdo al diseño productivo escalonado (V. Cap. 11), en esta etapa se requerirían diversos componentes de materiales sintéticos y otros de base orgánica como lo son las semillas mejoradas. En la etapa 2 se cosecha lo sembrado, esta actividad se desarrolla una vez a la semana de igual manera y serán necesarios

materiales de empaque principalmente y gasolina para su transportación. Existen dos etapas más que se relacionan con la producción acuícola esencialmente, una tercera etapa es la indicada para la introducción de los alevines, esta debe desarrollarse cada 8 semanas que es el periodo que necesitan los peces para desarrollar su talla comercial de acuerdo al plan de alimentación establecido y para el que obviamente deberá invertirse en alimento para pez y los alevines de Tilapia. Por último en la etapa 4 deben colectarse los peces de tamaño comercial que serán almacenados en empaques térmicos y hielo para su traslado.

### 8.1.3 Total de las inversiones

De acuerdo al análisis planteado la inversión necesaria para este proyecto es de \$ 919,025; este resultado contempla cada uno de los componentes necesarios para iniciar la producción sin contratiempos, de hecho, también se contabiliza la mano de obra para la construcción e instalación de los componentes. Para darle mayor certidumbre al análisis se tomaron en cuenta los precios más altos del mercado y en algunos se casos se inflaron para presionar el resultado de la viabilidad económica.

- Dosel para invernadero: Este componente merece especial atención ya que representa una buena parte de la inversión, la necesidad de esta recae en la exposición a las condiciones climatológicas que pueden alterar en gran medida la producción proyectada por lo que el costo de oportunidad de prescindir de su uso puede no ser el económicamente más óptimo en el largo plazo. Se ha considerado el costo de acuerdo a los materiales y mano de obra requeridos con la base del diseño ingenieril propuesto en este trabajo, pero también existe la posibilidad de encontrar diversos proveedores que manufacturen e instalen a un precio competitivo. En este caso se ha conseguido obtener una cantidad promedio de \$ 175,000 pesos.
- Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV): Este componente contempla la adquisición de equipos nuevos para permitir asegurar la eficacia en su funcionamiento; pero puede desarrollarse algún programa que configure la elaboración de estos aprovechando la disponibilidad de materiales y la simpleza de su esquema productivo.

Para este proyecto se han considerado \$ 176,000 de inversión para cubrir todos los requerimientos energéticos del sistema.

- Sistema de cosecha pluvial: Este es otro componente que podría considerarse como adicional, pero que de igual manera que los otros cumple un papel muy importante ya que este reduce la dependencia del abastecimiento externo, reduciendo el costo económico y ambiental por consumir de fuentes tradicionales. El presupuesto para este componente es de \$ 21,580 pesos entre material y mano de obra.

#### 8.1.4 Pagos

- Impuestos sobre la renta: Se ha considerado el 30% de impuestos de acuerdo a la miscelánea fiscal del 2011.
- Servicio de consultoría: el servicio de consultoría máximo propuesto por la metodología de la UACH se estima en un máximo de 30%, por lo que se continúa con la carga económica que demuestre la fiabilidad.

#### 8.1.5 Depreciación

Se calculó la depreciación de aquellos componentes sujetos a este proceso mediante el método directo, computándose una depreciación anualizada del orden de los \$ 33,337.

#### 8.2 Análisis de Riesgo

- *Valor Actual Neto (VAN)*: la cantidad obtenida por esta medición es de \$ 2,737,394, lo que significa que durante los seis años de operación desde la inversión inicial y su puesta en marcha durante los siguientes 6 años se espera recibir esta cantidad a pesos corrientes.
- *Tasa Interna de Retorno (TIR)*: Para la tasa interna de retorno se obtuvo 64%, este indicador está íntimamente relacionado con el valor actual neto, sirve únicamente para

reforzar la hipótesis del primero, indica que el proyecto es muy fiable considerando el ciclo económico de 6 años con una tasa de descuento del 7.56%.

- *Estudio Costo-Beneficio (B/C)*: se ha integrado este indicador para otorgar información adicional sobre los riesgos del proyecto, el resultado de 3.41 demuestra que por cada peso invertido han de obtenerse dicha cantidad.



## CONCLUSIONES

El impacto del cultivo de vegetales y peces mediante el RAS lo que finalmente debe determinar si el realizarlo representa un esfuerzo que valga la pena para los productores. Los instrumentos de medición y riesgo económico más utilizados para este tipo de proyectos de inversión determinan si el proyecto es rentable; sin embargo estos resultados por si mismos determinan sólo parcialmente la certidumbre entre los interesados ya que además de esta información debe consolidarse esta certidumbre con un esquema de trabajo que formalice y especifique las líneas de trabajo a seguir evitando así serios contratiempos a través de la participación activa de equipos de trabajo interdisciplinarios que tengan la responsabilidad de llevar a cabo el proyecto que garantice su correcta ejecución.

Analizando los resultados obtenidos de los supuestos principales en el esquema del análisis de los estados de resultados encontramos lo siguiente:

- ✓ La inversión inicial es de \$ 919,025.00 es considerada bastante elevada si es comparada con alguna otra actividad, donde un tercio corresponde a inversiones en activos fijos y asimilables, y dos tercios en capital de trabajo necesario para comenzar la producción.
- ✓ Aunque la evaluación económica de los 6 años proyectados arrojará valores netamente positivos, sería muy dificultoso acceder a algún crédito con esta cifra, es por eso que se plantea en el trabajo que deba el Estado hacer mejores y mayores esfuerzos para ser financiada con un porcentaje menor a los socios.
- ✓ El análisis económico-financiero de este proyecto, realizado con precios promedios constantes a Mayo del 2011 de los productos tilapia, lechuga, albahaca, tomate, amaranto e espinaca como resultado mostró un Valor Actual Neto (VAN) al \$ 2,737,394, lo que significa que durante los 6 años de operación desde la inversión inicial y su puesta en marcha y lo largo de este tiempo se espera recibir esta cantidad a pesos corrientes, sugiriendo así la viabilidad económica de este negocio en estas condiciones.
- ✓ Con los resultados de la sensibilidad realizada con los precios de los productos tilapia, lechuga, albahaca, tomate, amaranto e espinaca se puede concluir que si el

inversionista que instalará la granja Acuapónica produce estos insumos, en campo propio, se verá atraído por los valores de la TIR que registra una tasa interna de retorno de 64%, que indica que el proyecto es muy fiable y refuerza el anterior considerando el ciclo económico de 6 años y una tasa de descuento del 7.56%.

- ✓ El resultado de 3.41 en estudio costo-beneficio demuestra que por cada peso invertido ha de obtenerse esa cantidad.

Con estos resultados básicos podemos concluir que el sistema por si sólo representa una fuente de ingresos adicional para los productores; sin embargo no podría asegurarse una transferencia fluida sin cumplir con las características que los productores de la zona buscan en un sistema productivo que sea lo suficientemente diversificado.

Estas características de acuerdo a múltiples estudios deben (ICRAF, 1994; Snook A. , 1996; Sosa, 1998; Faust & Bilborrow, 2000):

- ✓ *Ser capaz de amortiguar los múltiples riesgos y evitar un siniestro total.* Siendo un sistema que trabajo bajo condiciones controladas la Acuaponia evita por su naturaleza las inclemencias climatológicas.
- ✓ *Cubrir las necesidades familiares.* Al poderse beneficiar de la precocidad en las cosechas por ser bajo un medio controlado puede anticiparse un supuesto nivel de producción que deja margen suficiente al autoconsumo; además la técnica provee de vitaminas y minerales esenciales además de proteínas.
- ✓ *Producir ingreso a corto plazo.* El sistema produce excedentes en la producción prácticamente al primer año de su implementación.
- ✓ *Absorber toda la mano de obra familiar disponible durante el año.* Aunque el sistema RAS requiere poca mano de obra, esto en realidad representa una ventaja porque esta se encauza a actividades que demandan más trabajo como lo son desmontar, cultivar y cosechar, necesarios en los sistemas diversificados agroforestales.
- ✓ *Ser independiente de insumos externos.* La autosuficiencia de este diseño es uno de los aspectos más importantes porque siendo la Acuaponia un sistema que funciona fundamentalmente con agua y sustratos, en ninguno de los dos casos es necesaria una fuente externa de aprovisionamiento ya que el agua se cosecha en contenedores

y el sustrato es indisoluble, inclusive la electricidad necesaria para la aireación y ventilación es provista de un sistema híbrido de energías renovables.

- ✓ *Ser lo más redituable posible en cuanto a retornos de mano de obra.* El sistema estima recursos financieros suficientes para contratar mano de obra adicional.
- ✓ *Producir excedentes de producción para su reinversión en el futuro (aumento del patrimonio familiar).*

## ANEXOS

**Tabla 1. FLUJO DE CAJA.**

**DATOS INICIALES**

	Producción en Sistema Re circulante Acuapónico (RAS)						
Proyecto							
Inversión inicial	919,025.00						
Costes fijos anuales	120,000.00						
Coste variable unitario	2.06						
Precio de venta prom./m2	22.57						
Tasa de inflación anual	7.56%						
<b>PERIODOS (AÑOS)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>ENTRADAS</b>							
Ventas de LECHUGA en unidades	910,124	1,957,86	2,105,874	2,265,078	2,436,318	2,620,504	
Precio de la LECHUGA en unidades		330,000	709,896	763,564	821,290	883,379	950,163
Precio de la LECHUGA en unidades		12.00	12.91	13.88	14.93	16.06	17.28
Ventas de la ALBAHACA en kilos		121,446	261,255	281,005	302,250	325,100	349,677
Precio de la ALBAHACA / kilo		60.00	64.54	69.41	74.66	80.31	86.38
Ventas de TOMATE en kilos		47,748	102,715	110,481	118,833	127,817	137,480
Precio del TOMATE / kilo		15.00	16.13	17.35	18.67	20.08	21.59
Ventas de PEPINO en kilos		37,109	79,828	85,863	92,354	99,336	106,846
Precio del PEPINO / kilo		15.00	16.13	17.35	18.67	20.08	21.59
Ventas de AMARANTO en unidades		72,401	155,748	167,523	180,187	193,809	208,461
Precio del AMARANTO p/ kilo		27.00	29.04	31.24	33.60	36.14	38.87
Ventas de ESPINACA en kilos		20,172	43,394	46,674	50,203	53,998	58,080
Precio de ESPINACA / kilo		4.00	4.30	4.63	4.98	5.35	5.76
Ventas de TILAPIA en kilo/año		281,250	605,025	650,765	699,963	752,880	809,798
Precio de TILAPIA / kilo		25.00	26.89	28.92	31.11	33.46	35.99
<b>SALIDAS</b>							
	919,025	376,196	402,117	429,996	459,984	492,239	526,932
Depreciación de activos fijos		33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98
Inversión	919,025						
Costes Fijos		120,000	129,072	138,829	149,325	160,614	172,756
Costes Variables Unitarios		2.06	2.21	2.38	2.56	2.75	2.96
Costes Variables Totales		222,860	239,708	257,830	277,322	298,287	320,838
<b>FLUJOS NETOS DE TESORERIA</b>							
	-919,025	284,960	785,650	844,515	907,832	975,934	1,049,186
más Depreciación de activos fijos		33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98	33,336.98
Resultado antes de impuestos	-919,025	533,927	1,555,743	1,675,877	1,805,094	1,944,079	2,093,572

Impuesto (30%)		160,178	466,722	502,763	541,528	583,223	628,071
Servicio de Consultoría (30%)		122,125	336,707	361,935	389,070	418,257	449,651
<b>PUNTO MUERTO</b>							
Unidades		5,849.71	5,849.71	5,849.71	5,849.71	5,849.71	5,849.71
Importe		132,036	142,018	152,754	164,303	176,724	190,084
Ventas en unidades PROMEDIO		54,156	108,311	108,311	108,311	108,311	108,311
Precio PROMEDIO		22.57	24.28	26.11	28.09	30.21	32.49
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	64%		PAYBACK	1.14		B/C	\$3.41
<b>VALOR ACTUAL NETO (VAN)</b>		<b>\$2,737,393</b>					

La tasa de inflación anual es el promedio de (DIC. 2003-MAY. 2011). FUENTE: INPP mercancías y servicios intermedios; I. Sector económico primario; 1. Agropecuario, silvicultura y pesca BNAXICO.

[http://www.banxico.org.mx/polmoneinflacion/estadisticas/indicesPrecios/mercanciasYServiciosIntermediariosINPC\\_UDIS.html](http://www.banxico.org.mx/polmoneinflacion/estadisticas/indicesPrecios/mercanciasYServiciosIntermediariosINPC_UDIS.html)

**Tabla 2. INGRESOS.**

INGRESOS					AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
	precio	m2	kg/m 2/año	kg/año						
Lechuga orejona*	173		55000	330,000	709,896	763,564	821,290	883,379	950,163	
	12			12.00	12.91	13.88	14.93	16.06	17.28	
Albahaca	173	23.4	4048.2	121,446	261,255	281,005	302,250	325,100	349,677	
	60			60.00	64.54	69.41	74.66	80.31	86.38	
Tomate	173	36.8	6366.4	47,748	102,715	110,481	118,833	127,817	137,480	
	15			15.00	16.13	17.35	18.67	20.08	21.59	
Pepino	173	28.6	4947.8	37,109	79,828	85,863	92,354	99,336	106,846	
	15			15.00	16.13	17.35	18.67	20.08	21.59	
Amaranto	173	31	5363	72,401	155,748	167,523	180,187	193,809	208,461	
	27			27.00	29.04	31.24	33.60	36.14	38.87	
Espinaca	173	58.3	10085.9	20,172	43,394	46,674	50,203	53,998	58,080	
	4			4.00	4.30	4.63	4.98	5.35	5.76	
Tilapia grande**			22500	281,250	605,025	650,765	699,963	752,880	809,798	
	25			25.00	26.89	28.92	31.11	33.46	35.99	
Ingresos	22.									
Totales	57		108,311	\$ 910,124	\$1,957,860	\$2,105,874	\$2,265,078	\$2,436,318	\$2,620,504	

FUENTE: ASERCA con datos de SNIIM de Mayo de 2011

\* = cabezas por año

\*\*=kilos por año

**Tabla 3. COSTOS TOTALES.**

			<b>AÑO 1</b>
<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	
<b>Costos fijos</b>			\$ 120,000.00
<b>Sueldos y Salarios</b>	<b>anual</b>	<b>10</b>	<b>8000</b>
			\$ 80,000.00
<b>Pago de Impuestos</b>			
<b>Diversas Cuotas</b>		<b>4</b>	<b>10000</b>
			\$ 40,000.00
<b>Costos Variables</b>			\$ 222,860.00
<b>1 Etapa: Cultivo (cada semana)</b>			
<b>INSUMOS</b>			
<b>Bandejas plásticas</b>	<b>Unidad</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
			\$ 1,800.00
<b>Espanjas</b>	<b>Pliego</b>	<b>60</b>	<b>35</b>
			\$ 2,100.00
<b>Nutrientes</b>	<b>kg</b>		
			\$ -
<b>Semillas (Bote de 1Kg)</b>	<b>Bote</b>	<b>24</b>	<b>300</b>
			\$ 7,200.00
<b>2 Etapa: Cosecha (cada semana)</b>			\$ -
<b>Cajas de Poliuretano</b>	<b>Unidad</b>	<b>22</b>	<b>10</b>
			\$ 10,560.00
<b>Gasolina</b>	<b>litros</b>		
			\$ -
<b>3 Etapa: Introducción de Alevines (cada 8 semanas)</b>			
<b>Comida para Peces</b>	<b>kg</b>	<b>6</b>	<b>30</b>
			\$ 64,800.00
<b>Alevines</b>	<b>Unidad</b>	<b>3750</b>	<b>5</b>
			\$ 112,500.00
<b>4 Etapa: Cosecha de Pescado (cada 8 semanas)</b>			
<b>Gasolina</b>	<b>litros</b>		
			\$ -
<b>Cajas de Poliuretano</b>	<b>Unidad</b>	<b>375</b>	<b>10</b>
			\$ 22,500.00
<b>Hielo kg</b>		<b>700</b>	<b>2</b>
			\$ 1,400.00
<b>Costos totales (Costos Fijos + Costos variables)</b>			<b>\$ 342,860.00</b>
<b>Costo Variable Unitario</b>			<b>2.06</b>

**Tabla 4. REUMEN TOTAL DE INVERSIONES.**

CONCEPTOS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB-TOTALES	MONTOS
<b>ACTIVO FIJO</b>					
estanques acuícolas	m2	597		\$ 48,075.00	
cemento	bulto	92	\$ 145.00		\$ 13,340.00
block	Pza.	3582	\$ 6.00		\$ 21,492.00
arena	m3	17.11	\$ 300.00		\$ 5,133.00
cadenas	m.	185			\$ -
cemento	bulto	22	\$ 145.00		\$ 3,190.00
arena	m3	2.8	\$ 300.00		\$ 840.00
grava	m3	2.8	\$ 300.00		\$ 840.00
armex	Pza.	27	\$ 120.00		\$ 3,240.00
barda exterior	m2	278		\$ 29,208.00	
cemento	bulto	42	\$ 145.00		\$ 6,090.00
block	Pza.	1668	\$ 6.00		\$ 10,008.00
arena	m3	9.8	\$ 300.00		\$ 2,940.00
cadenas	m.	220			
cemento	bulto	30	\$ 145.00		\$ 4,350.00
arena	m3	3.3	\$ 300.00		\$ 990.00
grava	m3	3.3	\$ 300.00		\$ 990.00
armex	Pza.	32	\$ 120.00		\$ 3,840.00
camas hidropónicas	30 unidades			\$ 296,520.00	
cemento	bulto	1230	\$ 145.00		\$ 178,350.00
arena	m3	143.7	\$ 300.00		\$ 43,110.00
grava	m3	124.2	\$ 300.00		\$ 37,260.00
rejilla	Pza.		\$ 120.00		\$ -
sustrato de grava de 3/4"	m3	126	\$ 300.00		\$ 37,800.00
clarificadores	3 unidades			\$ 5,414.00	
cemento	bulto	3.6	\$ 145.00		\$ 522.00
block	Pza.	145	\$ 6.00		\$ 870.00
arena	m3	0.85	\$ 300.00		\$ 255.00
cadenas	m.	80.8			
cemento	bulto	11	\$ 145.00		\$ 1,595.00
arena	m3	1.22	\$ 300.00		\$ 366.00
grava	m3	1.22	\$ 300.00		\$ 366.00
armex	Pza.	12	\$ 120.00		\$ 1,440.00
tubería PVC				\$ 10,358.00	
tubos de 6"	m.	372	\$ 20.00		\$ 7,440.00
codos de 6"	Pza.	67	\$ 8.00		\$ 536.00
llave de paso	Pza.	123	\$ 19.00		\$ 2,337.00
"T" de 15"	Pza.	3	\$ 15.00		\$ 45.00



Dosel para invernadero				\$ 62,470.00	
lona de poliuretano de Cal. 720 UV II,	m2	4242	\$ 10.50		\$ 44,541.00
Malla sombra Raschel al 65%	m.	200	\$ 37.50		\$ 7,500.00
Cable. De acero galvanizado capa G-90,	m.				\$ -
columnas PVC de 12" rellenos	m.	96			\$ -
cemento	bulto	13	\$ 145.00		\$ 1,885.00
arena	m3	1.44	\$ 300.00		\$ 432.00
grava	m3	1.44	\$ 300.00		\$ 432.00
armex	Pza.	14	\$ 120.00		\$ 1,680.00
barra galvanizada de 2x2x1/16"	m.	240	\$ 25.00		\$ 6,000.00
ventilador	Pza.	12			
Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)				\$ 170,250.00	
Missouri Rider 1600 Watt 24 Volt 11 Blade Wind Turbine	Pza.	3	\$ 10,000.00		\$ 30,000.00
Panel Solar 215w/p Marca Erdm Solar	juego de 4	3	\$ 30,400.00		\$ 91,200.00
power inersor 2500 Watt Modified Sine Wave 24 Volt DC to 120 Volt AC	Pza.	3	\$ 5,350.00		\$ 16,050.00
banco de baterías de 2 vatios 3kwh	juego de 12	3	\$ 10,000.00		\$ 30,000.00
cableado	m.	3	\$ 1,000.00		\$ 3,000.00
barra galvanizada de 2x2x1/16"	m.	63			\$ -
tubo galvanizado de 6"	m.	9			\$ -
bombas				\$ 22,120.00	
manguera de 4"	m.	28	\$ 25.00		\$ 700.00
manguera de 2"	m.	60	\$ 18.00		\$ 1,080.00
bomba de ariete	Pza.	6	\$ 800.00		\$ 4,800.00
bomba auxiliar ½ hp,	Pza.	6	\$ 1,000.00		\$ 6,000.00
COMPRESOR DE AIRE LIBRE DE ACEITE 1.5HP, 115 VAC, 7.0 PCM	Pza.	6	\$ 1,500.00		\$ 9,000.00
manguera difusora	m.	90	\$ 6.00		\$ 540.00
sistema colector pluvial				\$ 12,285.00	
cemento	bulto	27	\$ 145.00		\$ 3,915.00
block	Pza.	1080	\$ 6.00		\$ 6,480.00
arena	m3	6.3	\$ 300.00		\$ 1,890.00
canal recolector	m.	240			\$ -
CAPITAL DE TRABAJO				\$ 262,325.00	
estanques acuólicas	m2	597	\$ 55.00		\$ 32,835.00
barda exterior	m2	278	\$ 55.00		\$ 15,290.00
camas hidropónicas	30 unidades	1410	\$ 55.00		\$ 77,550.00
clarificadores	3 unidades	140	\$ 55.00		\$ 7,700.00
tubería PVC	m.	565	\$ 10.00		\$ 5,650.00
toldo de invernadero	m2	4242	\$ 25.00		\$ 106,050.00
Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)	Pza.	3	\$ 2,000.00		\$ 6,000.00
bombas	Pza.	18	\$ 125.00		\$ 2,250.00
sistema colector pluvial	m2	180	\$ 50.00		\$ 9,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 919,025.00</b>	

**Tabla 5. DEPRECIACIÓN.**

CONCEPTOS	valor	vida útil	depreciación anual
estanques acuícolas	48075	45	\$ 1,068.33
barda exterior	29208	45	\$ 649.07
camas hidropónicas	296520	45	\$ 6,589.33
clarificadores	5414	45	\$ 120.31
tubería PVC	10358	15	\$ 690.53
Dosel para invernadero	62470	6	\$ 12,494.00
Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico (SHEFV)	170250	25	\$ 6,810.00
bombas	22120	6	\$ 4,424.00
sistema colector pluvial	12285	25	\$ 491.40
<b>Total (M\$)</b>			<b>\$ 33,336.98</b>

## Bibliografía

- Aldrete, M. (2009). *El desarrollo regional de una empresa forestal no maderable. Documento de trabajo*. México: Consorcio de Productores y Exportadores de Chicle.
- Argüelles, A., & Armijo, N. (1995). Problemática y perspectivas del manejo forestal. En *Utilización y conservación de los recursos forestales en Quintana Roo*. México: Unión Nacional de Organizaciones de Forestería Comunitaria, Instituto Nacional de Ecología.
- Argüelles, L., Contreras A, R., & Reyes F, J. (2004). Evolución organizacional de los ejidos forestales de Quintana Roo y su relación con las políticas públicas. En *Uso Conservación y cambios en los bosques de Quintana Roo*. (págs. 43-55). México: UQROO/CONACYT.
- Armijo, N. (2006). La categoría "sujeto social": prisma para analizarla organización campesina. En L. y. Sierra, *Acercamientos teóricos desde las ciencias sociales en el Caribemexicano. Migración, trabajo y medio ambiente*. México.: Uqroo/ Plaza y Valdés.
- Armijo, N. (2011). El chicle, protagonista de la historia de Quintana Roo. En C. A. Pozo, *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I* (págs. 206-2011). México, D.F.: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Avila, M. (1995). Agroforestry research to develop sustainable agriculture in the forest buffer zone of Southeast Mexico. En *Annual Report*. Chetumal. México: International Council for Research in Agroforestry-México.
- Barrera-Bassols, N., & Toledo, V. M. (2005). Ethnoecology of the Yucatec Maya: symbolism, knowledge and management of natural resources. *Journal of Latin American Geography*.
- Berdegú, J. (1997). *Farming Systems Research and Extensions in Latin America*. Santiago de Chile: International Paper, RIMISP.
- Bray, D. (2003). Mexico's community-managed forests as a global model for sustainable landscapes. En D. L.-P.-C.-W. Bray, *Conservation Biology* (págs. 17: 972-677).
- Caldera, E. S. (1991). *Análisis del comportamiento del viento en la zonacostera norte y porción insular del estado de Quintana Roo*. . Zacatecas, Zac., México.: Memorias de la XV Reunión Nacional de Energía Solar, 30 de septiembre al 4 de octubre de 1991, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 102-106.
- Casey, J., Mercer, D., & Snook, A. (1999). Evaluating farmer preferences for agroforestry systems: survey instrument design. En *Proceedings of the 1998 Southern Forest Economics Workers Conference*. Williamsburg: SOFEW.
- Church, D. C., & Pond, W. G. (1982). *Basic animal nutrition and feeding*. New York, USA: John Wiley and Sons.

- Colunga, G. M., & Zizumbo, V. D. (2004). Domestication of plants in Maya lowlands. *Journal of Economic Botany*, 58 (Supplement): 101110.
- De Wit, M. (1978). Morphology and function of roots and shoot growth of crop plants under oxygen deficiency. En D. Hook, & R.M.Mm, *Plant Life and Anaerobic Enviroments* (págs. 330-350). Ann Arbor, MI: Ann Arbor Science.
- Douglas, J. (1985). *Advanced Guide to Hydroponics*. Lomdon: Pelham Books.
- Ellis, E. A., & Porter, B. L. (2008). *Is community-based forest management more effective than protected areas? A comparison of land use/land cover change in two neighboring study areas of the Central Yucatan Peninsula, Mexico*. *Forest Ecology and Management* Vol. 256. pp. 1971-1983.
- Escudero, P. A. (1998). Sistema Mixto Eólico Fotovoltaico en vivienda rural basada basada en el concepto de "Permacultura". España: Piña de Esgueva.
- FAO, M. d. (2007). *Capacitación en calidad de agua para hidroponía*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Farris, N. M. (1984). *Maya society under colonial rule*. . New Jersey, U.S.A.: Prin centon Uni versity Press. .
- Faust, B., & Bilsborrow, R. (2000). *Maya Culture, Population, and Enviroment in the Yucatán Peninsula*. En W. Lutz, L. Prieto, & W. Sanderson, *Popultation ,Development and the Environment en the Yucatan Peninsula*. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Research Analysis.
- Flachsenberg, H., & Galletti, H. A. (1999). El manejo forestal de la selva en Quintana Roo, México. En D. B.-9. R. B. Primack, *La selva maya: Conservación y desarrollo* (págs. 74-97). Ciudad de México Editores: Siglo xxi.
- Galleti, H. (1994). Actividades forestales y su desarrollo histórico. En H. Galleti, *Estudio Integral de la Frontera México Belice. Análisis Socioeconómico* (pág. Tomo I.). México.: Ciqro.
- Galleti, H. (1999). La selva maya en Quintana Roo (19831996). Trece años de conservación y desarrollo comunal. En D. B. Richard Primack, *La selva maya: conservación y desarrollo*. . México.: Siglo XXI, .
- Garza, T. d., & Kurjak, E. B. (1980). *Atlas arqueológico del estado de Yucatán*. México.: Secretaría de Educación Pública e Instituto Nacional de Antropología e Historia, Centro Regional Sureste.
- Gerber, N. (1985). Plant Grow and Nutrient Formulas. En A. Savage, *Hydroponics Worldwidw: State of the Art in the Soiless Crop Production*. (págs. 58-69). Honolulu, HI: International Center for Special Studies.
- Hallams M. (2008). *Aquaponics Secrets*. Australia.
- Hardin, G. (1968). "The Tradegy of Commons". *Science*, 1243-1248.
- Harmon, T. (2003). NFT aquaponic systems: a closer look. *Aquaponics Journal*. , Número 31:8-11, cuarto trimestre.
- Hernández Xolocotzi, E. (1955). La agricultura. . En E. (. Beltrán, *Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento, vol. 3*. (pág. pp. 359). México. : imnr, .

- Hurd, N. (2004). El Futuro del Desarrollo Sustentable. *futuros*, No. 6 segunda parte.
- ICRAF. (1994). *Información de la encuesta sobre uso de tierra, la milpa y la agroforestería: Zona Maya y Calakmul*. Chetumal, Quintana Roo: Libros 1 y 2, reporte interno ICRAF-México.
- INEGI. (2007). *IX Censo Ejidal. México*.
- INEGI. (2010). *Anuario estadístico de Quintana Roo*. Quintana Roo: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2011). *Perspectiva estadística Quintana Roo*.
- Jensen, M., & Collins, W. (1985). Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.*, 7:483-558.
- Jhones, C., Gama, L., Giddings, L., Rico-Gray, V., & Velásquez, A. (2000). Caracterización de los paisajes terrestres actuales de la península de Yucatán. *Estudios Geograficos*, 42:28-39.
- Jiménez, M. (2009). *EL ARIETE HIDRÁULICO*. España: Taller de Investigación Alternativa, (Fundación Tierra).
- Kimball, B. (1992). Carbon Dioxide and agricultural yield: an analysis of 360 prior observations. *Agr. Res. Service USDA*.
- Konrad, H. W. (1991). Capitalism on the tropical forest frontier, Quintana Roo, 1880 to 1930. . En J. T. Brannon, *Land labor and capital in the modern Yucatan*. Tuscaloosa, Alabama.: University of Alabama Press, .
- Lamb, F. (1966.). *Mahogany of Tropical America: its ecology and management*. Ann Arbor, University.
- Landesman, L. (1977). Overwintering tilapia in a recirculating system. En *Essays on Food and Energy* (págs. 121-127). Howard Community College and Foundation for Self-Sufficiency, INC.
- Leff, E. (1998). *Ecología y capital : racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable*. México : Siglo XXI.
- Lennard, W. ( Melbourne Australia. de 2004). Aquaponics research at RMIT university. En *Aquaponics Journal*. (págs. 35:18-24). Melbourne Australia. : RMIT university cuarto trimestre.
- Lennard, W. (2006). Minnamurra Aquaponics. A commercial aquaponic farm in Victoria, Australia. *Aquaponics Journal*, Número 40:22-25, primer trimestre.
- Lennard, W. A., & Leonard, B. V. (2005). A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. , Volume 12, Number 6. p. 539–553.
- Lewis, W., Yopp, J., Brandenburg, A., & Schnoor, K. . (1981). On the maintenance of water quality for closed fish production systems by means of hydroponically grown vegetable crops. En K. T. (ed.), *Aquaculture in Heat* (pág. p. 121 130.).
- Lozano, R., & Olivares, J. (2011). Sociedad y Economía . En C. A. Pozo, *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I* (págs. 86-109). México D.F.: El Colegio de la Frontera Sur

- (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd).
- Lugo, A. E. (2005). El manejo de la caoba define la agenda de conservación. . *Recursos Naturales y Ambiente*, 44: 68.
- Malcolm, J. (2005). Backyard aquaponics. En Joel Malcolm, *A guide to building an aquaponic system*. . Western Australia.
- Malcolm, J. (2005). *Backyard aquaponics. A guide to building an aquaponic system*. Western Australia.
- Malthus, & Smith. (1776). *La Riqueza De Las Naciones*.
- Mariaca, M. R., Schmook, B., Ruiz, D. M., & Martínez, C. J. (2003.). Caracterización técnica y ecológica de la producción milpera en tres comunidades mayenses de México. En L. f. Roo., *Montoya Gómez, G., Bello Baltazar, E., Parra Vázquez, M. y Mariaca Méndez, R. (Editores). La frontera olvidada entre Chia pas y Quintana Roo*. (pág. 93140 p.). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.: Conaculta, Sibej, ecosur,.
- Martinez Alier, J. (2001). *Economía Ecológica Y Política Ambiental*. España, S.L: Fondo De Cultura Economica De España, S.L. - 2ª Ed.
- Martínez, A. J., & Roca, J. J. (2000). *Economía ecológica y política ambiental. Textos de Economía*. México.: PNUMA y FCE.
- McMurtry, M. e. (1990. ). Sand culture of vegetables using recirculating aquacultural effluents. . *Applied Agricultural Research*. Vol. 5, No. 4. (Fall). ., 280–284.
- Medina, B. (1948). La explotación forestal en el territorio de Quintana Roo. En *Tesis de Licenciatura*. (pág. 67 pp.). México.: Escuela Nacional de Agronomía, Chapingo.
- Melo, G. C. (2002). Áreas Naturales Protegidas de México en el Siglo XX. En *Temas selectos de geografía de México*,. México.: Instituto de Geografía de la unam,.
- Merino, P. L. (2004). Las políticas forestales y de conservación en México y en Quintana Roo. En L. A. Merino P, & C. Llorens, *Uso, Conservación y cambios en los bosques de Quintana Roo* (págs. 15-42). México: UQROO/CONACYT.
- Mertz, O. . (2008. ). A fresh look at shifting cultivation: fallow length an uncertain indicator of productivity. En R. L. Wadley. *Agricultural Systems*.
- Mex, Y. (1995). *El programa de reforestación de Calakmul, conferencia presentada en el taller: Problemática, avances y necesidades de la agroforestería en la zona de Calakmul Campeche*. Campeche : Taller de trabajo, Zho Laguna.
- Mochón, F., & Beker, A. (2008). *Economía, Principios y Aplicaciones*. Argentina: Mc. Graw Hill.
- Naegel, L. (1997). Combined Production of fish and plants in recirculating water. En *Aquaculture* (págs. 10:17-24). London: Westview Press.

- Nair, A. (1987). Integrating fish culture and vegetable hydroponics: Problems and prospects. . En J. a. Rakocy, *Virgin Islands Perspectives* (págs. Vol. 1, No. 1. (Win). St. Croix, U.S. Virgin Islands. : University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station,.
- Natural, U. d. (2002). La producción de Chicle en México. Documento de Trabajo.
- Navarro-Martínez, M. A. (2011). La Caoba, mas de un siglo de aprovechamiento. En C. A. Pozo, *Riqueza Biológica de Quintana Roo: Un análisis para su conservación* (págs. 212-220). México, D. F.: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd). .
- Nelson, R. (2004). Tilapia. Fasti Growing, hardy and tasty. *Aquaponics Journal.*, 35:16-17, cuarto trimestre.
- Nelson, R. (2007). *Acuaponía.* . Montillo, WI. USA.: Nelson/Pade Multimedia.
- Nolasco, M. A., Carreón, M., Hernández, C., Ibarra, E., & Snook, L. K. (2005). El manejo de la caoba en Quin ta na Roo, México. Legislación, responsabilidades y apoyo gubernamental. *Revista Recursos Naturales y Ambiente*, 44: 1926.
- Norgaard, R. (1985). *Sustainability and Discounting the Future.*
- Nye, P. H., & Greenland, D. J. (1960). The soil under shifting cultivation. U.K.: Commonwealth Agricultural Bureaux,.
- Olivares, M. J. (2003). *Milagro económico o tristeza del Yaxché. Los municipios olvidados: Felipe Carrillo Puerto, José María Morelos y Lázaro Cárdenas (1990-2000). Tesis de Licenciatura.* Chetumal: Universidad de Quintana Roo.
- ONU. (2011). *Estudio Económico y Social Mundial, 2011; La gran transformación basada en tecnologías ecológicas.* Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales.
- Ostrye, M. (2004). Photovoltaic aquaponics. *Aquaponics Journal.*, Número 33:13-17, Segundo trimestre.
- Parker, R. (2002). *Aquaculture science.* . Albany, NY. USA: Delmar. Second edition. .
- Parker, R. (2002). *Aquaculture science.* . Albany, NY. USA: Second edition. Delmar.
- Patch, R. (1978). El mercado urbano y la economía cam pesina en Yucatán durante el siglo xviii. *Boletín de la Escuela de Ciencias Antropológicas de la Uni ver si dad Autónoma de Yucatán* , 27: 5266.
- Pearce, D. y. (1993). *World uithout End. Economics, Environment, and Sustainable Development.* U.S.A: Oxford University Press.
- Pérez, T. A. (1981). La agricultura milpera de los mayas en Yu catán. En P. L. Vargas, *La milpa entre los ma yas de Yucatán.* (págs. pp. 1-28).
- Pierce, B. A. (1980). Water reuse aquaculture systems in two solar greenhouses in Northern Vermont. En *Proceedings of the Annual Meeting of the World Mariculture Society.* (págs. Vol. 11. p. 118-127.).
- Pohl, M. P. (1996). Early agriculture in the Maya low lands. *Latin American Antiquity*, 7: 352372.

- Popma, T., & Masser, M. (1999.). Tilapia. Life history and biology. . *SRAC Publication* , No. 283.
- Quillere, I. (1993). An Artificial productive ecosystem based on fish/bacteria/plant association. Design and Management. En D. Marie, L. Roux, F. Goose, & J. Morot-Gaudry, *Agriculture, Ecosystems and Enviroment* (págs. 7:13-30).
- Rakocy, J. (1994). 'Waste management in integrated recirculating systems', Proceedings of the 21st United States-Japan Meeting on Aquaculture. *Bulletin of National Research Institute of Aquaculture*, Supplement 1:75-80.
- Rakocy, J. (1995). 'Aquaponics: the integration of fish and vegetable culture in recirculating systems'. En P. M. CC, *Proceedings of the 30th Annual Meeting of the Caribbean Food Crops Society* (pág. 101 108). St. Thomas, US Virgin Island.
- Rakocy, J. (2002). *Aquaponics:Vegetable Hydroponics in recirculating systems*. . Ithaca: Cayuga Aqua Ventures.
- Rakocy, J. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. . En J. R. Rakocy, *Acta Horticulturae*. (págs. Vol. 648. p. 63–69. ). [www.actahort.org/books/648/648\\_8.htm](http://www.actahort.org/books/648/648_8.htm).
- Rakocy, J. E. (2008). *Aquaponics: The biofilter that generates income*. Kingshill, VI 00850 USA: University of the Virgin Islands.
- Rakocy, J., & Hargreaves, J. (1993). Integration of Vegetable hydroponics with fish culture; a review. En J. Wang, *Thecniques for Modern Aquaculture*. (págs. 148-158). St. Joseph, MI: American Society if Agricultural Engineers.
- Ramírez, M. (1991). Producción y comercialización de recursos forestales en Quintana Roo. (Caso específico: Organización de Ejidos Productores Forestales de la Zona Maya, S. C. en el municipio de Felipe Carrillo Puerto, Quintana Roo). En *Tesis de Licenciatura. Departamento de Economía Agrícola*. (pág. 168 pp.). Chapingo, México. : Universidad Autónoma de Chapingo,.
- Rappo, s., & Vasquez, R. (2006). ECONOMÍA, AMBIENTE Y SUSTENTABILIDAD. *APORTES*, 101-109.
- Redeclift, M. (1989). *Sustainable Development. Exploring the contradictions*. . London y New York.: Routledge. .
- Resh, H. (1995). *Hydroponic food production*. Santa Barbara, California.: Woodbridge Press Publishing Company, .
- Rodríguez, C. R. (1944). La explotación de los montes de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en el territorio de Quintana Roo. En T. d. Licenciatura.. México.: Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo,.
- Ruenes, M., Aké, A., & Jiménez, J. (1999). El Solar Maya. En UADY, *Atlas de Porocesos Territoriales de Yucatán* (págs. III.6:236-245). Mérida Yucatán: CICYT, UADY, FMVZ.UADY.
- Ruthenberg, H. (1980.). *Farming systems in the tropics. (3rd edition)*. Clarendon Press, Oxford.
- Sachs, J., & Larrain, F. (1999). *Macroeconomía en la Economía Global*. USA: Pearson.



- SAGARPA. (2011). Superficie Sembrada por tipo de cultivo y principales cultivos según su disponibilidad de agua, años agrícolas 2003-2009. México.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. (2008). *ECONOMIA*. USA: Mc Graw Hill, decimotercera.
- Sanabria, O. L. (1986). El uso y manejo forestal en la comunidad de Xul, en el sur de Yucatán, fascículo 2. . En *Etnoflora yucatanense*. (pág. 191 p.). Xalapa, Veracruz.: Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bióticos.
- Santos, J. V. (1998). La organización de ejidos productores forestales de la Zona Maya: un proceso de investigación participativa. En V. Santos J, M. Carreón, & K. 1. Nelson, *serie Estudios de Caso sobre Participación Campesina en Generación, Validación y Transferencia de Tecnologías*. (pág. 129 p.). México: Red de Gestión de Recursos Naturales/Fundación Rockefeller.
- Savidov, N. (2004). *Evaluation and Development of Aquaponics Production and Product Market in Alberta*. Brooks AB, Canada: Crop Diversification Centre South.
- SEMARNAP. (1998). *Ley Forestal y su Reglamento*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).
- SEMARNAP. (2003). Informe de labores. Chetumal, Quintana Roo.; Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).
- SEMARNAT. (2001). *Inventario Nacional Forestal*. México: SEMARNAT.
- SEMARNAT. (2001). *Inventario Nacional Forestal. Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR)*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sepúlveda, G. (1992). *El cambio ecológico en el desarrollo rural*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Sepúlveda, G. (2006). *Tecnología Agrícola*. México, D.F.: trillas.
- SIAP. (2011). *Boletín del Mercado Nacional Agropecuario*. México: SAGARPA, No 1010.
- Smid, C. (1999). *Reforestation of degraded agricultural land with native tree species in the buffer zone of the Calakmul Biosphere Reserve; tesis de maestría*. Durham, NC.: Nicholas School of the University, Duke University.
- Snook, A. (1996). *Annual Report*. Chetumal Quintana Roo, México.: documento interno, ICRAF-México.
- Snook, A. (2000). Evaluación Social del Corredor Biológico Sian Kaán-Calakmul. En *Evaluación, diagnóstico y planificación participativa en ejidos de Quintana Roo*. México: World Bank.
- Snook, A. E. (2004). En busca de sistemas agroforestales viables: resultados y experiencias en Calakmul y la Zona Maya. En N. Armijo, & C. Llorens, *Uso, conservación y cambio en los bosques de Quintana Roo* (págs. 131-158). Quintana Roo, México: Universidad de Quintana Roo.
- Snook, L. (2002). Sustaining Mahogany: The challenge of ensuring regeneration; Insights from research in the Selva Maya. En L. Snook, L. Negreros, M. Camara, J. Toledo, S. O'Connor, C. Minnemeyer, . . . G. Buppert, *Sustainable trade and management of mahogany*. Amazonia Oriental: Tropical Forest Foundation and EMBRAPA .

- Snook, L. K. (1999). Aprovechamiento sostenido de caoba de las selvas de la península de Yucatán, México: pasado, presente y futuro. En R. In Primack, D. Bray, H. Galletti, & I. e. Ponciano, *LaSelva Maya: conservación y desarrollo*. (págs. p. 98- 119.). México, DF,,: Siglo XXI.
- Snook, L. K. (2005). Aprovechamiento sostenido de caoba en la selva maya de México, De la conservación fortuita al manejo sostenible. *Recursos Naturales y Ambiente*, 44: 918.
- Sollow, R. (1970). *La Teoría del Crecimiento*. New York: Fondo de Cultura Economica.
- Sosa, M. (1998). *Evaluación económica de una parcela agroforestal del ejido Narciso Mendoza, Calakmul, Campeche México (Estudio de Caso)*. Chetumal, Q Roo: reporte interno inédito ICRAF-México.
- Stanghellini, M., & Rasmussen, S. (1994). Hydroponics: a solution for zoosporic pathogens. En *Plant Disease* (págs. 78(12):1129-1138).
- Steve Diver, N. A. (2010 NCAT). *Aquaponics—Integration of Hydroponics with*. ATTRA.
- Sutton, R., & Lewis, W. (1982). Further observations on a fish production system that incorporates hydroponically grown plants. *Progressive Fish Culturist.*, Vol. 44, No. 1, p.55–59.
- Terán, S., & Rasmussen, C. (1994). *La milpa de los mayas*. Yucatán, México.: Danida,.
- Terán, S., Rasmussen, C., & MayCauch, O. (1998). *Las plantas de la milpa entre los mayas*. . Yucatán, México. : Fundación Tun Ben Kin, A.C., .
- Thomassiny, A. J., & Chan, R. E. (2011). Uso y Manejo de los Recursos Naturales: Cambios en el uso de suelo. En C. A. Pozo, *Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I* (pág. 132.135). Méxioco, D.F.: El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones (ppd).
- Timmons, M. (2002). En E. J. Timmons MB, *Recirculating Aquaculture Systems*. 2nd Edition, North Eastern Regional Aquaculture Center.
- Toever, V., & MacKay, K. (1980). A modular recirculating hatchery and rearing system for salmoinds utilizaong ecological design principles. En K. Tiews, *Symposium on New Development in the Utilization of Heated Effluents and Recirculating Systems for Intensive Aquaculture* (págs. 403-414). Stravanger, Norway: EIFAC.
- Toledo, V. M. (1990). The ecological rationality of peasant production. En M. y. Altieri, *Agroecology and smallfarm Development*. (pág. pp. 5360.). Boca Raton, Florida.: CRC Press,.
- Turner, B. L., & Miksicek, C. H. (1983). Economic plant species associated with prehistoric agriculture in the Maya lowlands. *Economic Botany*, 38(2): 179193.
- Twarowska, J., Westerman, P., & Losordo, T. (1997). Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural Engineering*, 16:133-147.
- UQROO-GOT. (2000). Grupo de Ordenamiento Territorial. En D. inédito, *Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (Peot)*. . Universidad de Quintana Roo, Gobierno del Estado de Quintana Roo.

- Van Gorder, S. (1991). Optimizing production by continuous loading of recirculating systems. En *Workshop of design of High Density Recirculating Systems*. (págs. 17-26). LA: Baton Rouge.
- Van Gorder, S. (2000). *Small scale aquaculture*. . Breinigsville, PA, USA: The Alternative Aquaculture Association.
- Verwer, F., & Wellman, J. (1980). The possibilities of Grodan rockwool in horticulture. *Int. Congress on Soiless Culture*, 5:263-278.
- Vester, F. M., & Navarro, M. A. (2005). Ecological issues in community tropical forest management in Quintana Roo, Mexico. En D. M. In: Bray, *The community forests of Mexico. Managing Sustainable Landscapes*. (págs. pp. 183-213.). U.S.A: University of Texas Press.
- Villanueva, M. E. (1990). *La formación de regiones en la agricultura (el caso de Yucatán)*. Mérida, Yucatán.: Maldonado Editores, ini, uady, Cedrac,.
- Watten, B. J., & Busch, R. L. (1984). Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system. *Aquaculture*. Vol. 41, No. 3. (October)., 271–283.
- Wilson, G. (2005b). UVI presents aquaponics at soilles conference in Singapore. *Aquaponics Journal*. , Número 39:20-23,.
- Xacur Maiza, J. A. (1998). *Enciclopedia de Quintana Roo*. Chetumal, Quintana Roo.: Tomo 3.
- Zapata, B. (1996). *Análisis de eocnuestas que se relaizarón con productores participantes, no participantes, y organizadores del proyecto Agroforestal CRASX*. Chetumal, México: ICRAF-México.
- Zweig, R. D. (1986). An integrated fish culture hydroponic vegetable production system. *Aquaculture Magazine*. , Vol. 12, No. 3. (May- June). p. 34, 36–40.